T.C.

DİCLE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AKIŞ KATSAYISININ BULANIK SMRGT YÖNTEMİ İLE MODELLENMESİ

DERYA KARAKAYA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DİYARBAKIR

ARALIK 2018

T.C

DİCLE UNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

DİYARBAKIR

Derya KARAKAYA tarafından yapılan "Akış Katsayısının Bulanık SMRGT Yöntemi ile Modellenmesi" konulu bu çalışma, jürimiz tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir

Jüri Üyesinin

	Ünvanı	Adı Soyadı
Başkan:	Prof. Dr.	Z. Fuat TOPRAK
Üye :	Prof. Dr.	Fatih ÜNEŞ
Üye :	Doç. Dr.	Fevzi ÖNEN

Tez Savunma Sınavı Tarihi: 10/12/2018

Yukarıdaki bilgilerin doğruluğunu onaylarım.

.../...../2018

Prof. Dr. Sevtap SÜMER EKER

ENSTİTÜ MÜDÜR V.

(MÜHÜR)

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince değerli bilgileri ve tecrübesi ile bana daima destek olan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Z. Fuat Toprak'a tüm içtenliğimle teşekkür ederim. Lisansüstü eğitimim boyunca beraber çalıştığım, yardımlarını esirgemeyen kıymetli arkadaşım Öğr. Gör. Zeynep Aykaç'a, tez çalışmamda destekçim olan sevgili kardeşim Dilan Karakaya'ya, lisans eğitimim ve sonrasında bilgi ve tecrübeleri ile her zaman destekçim olan değerli hocam Arş. Gör. Enes Gül'e ilgisinden ötürü teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca her zaman yanımda olan, maddi manevi desteklerini esirgemeyen aileme, özellikle de değerli babama içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEŞEKKÜR ..... **I**
İÇİNDEKİLER ..... **II**
ÖZET ..... **IV**
ABSTRACT ..... **VI**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **VIII**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **IX**
KISALTMA VE SİMGELER ..... **XI**
1. GİRİŞ **1**
2. KAYNAK ÖZETLERİ **5**
2.1. Yağmur Suyu Drenajı Sistemleri Hidrolik Hesap Tasarımı ile İlgili Çalışmalar ..5
2.2. Yağmur Suyu Drenaj Sistemleri Optimizasyonu ve Modelleme Çalışmaları 10
2.3. Yağış–Akış İlişkisini Modellemeye Yönelik Çalışmalar 14
2.4. Akış Katsayısını Belirlemeye Yönelik Çalışmalar 15
2.5. Literatür Özeti Üzerinde Tartışma 16
3. MATERYAL VE METOT **19**
3.1. Yağmur Suyu Drenajının Amacı 19
3.2. Yağmur Suyu Projelerinde Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar 19
3.3. Yağmur Suyu Drenajında Yüzeysel Akışın Önemi 20
3.3.1. Hidrolojik Döngü 20
3.4. Yağmur Suyu Drenajında Akış Katsayısının Hesaplanması 23
3.5. Yağmur Suyu Drenaj Sistemlerinde Akışa Etki Eden Faktörler 24
3.5.1. Meteorolojik Faktörler 24
3.5.1.1. Yağış şiddeti 24
3.5.1.2. Sıcaklık 25
3.5.1.3. Rüzgâr 25
3.5.2. Arazi Özelliklerine Bağlı Faktörler 26
3.5.2.1. Eğim 26
3.5.2.2. Arazi Kullanımı 27
3.5.3. Zemine Bağlı Faktörler 28
3.5.3.1. Sızma Kapasitesi 28

3.5.3.2. Doygunluk Derecesi 28
3.6. Yağmur Suyu Drenaj Sistemlerinde Kullanılan Modeller 29
3.7. Bulanık Mantık (Fuzzy Logic) Yöntemi 30
3.8. Model İşlem Adımları 31
3.8.1. Bulanıklaştırma 31
3.8.2. Bulanık Sonuç Çıkarma 31
3.8.3. Bulanık Çıkarım 32
3.8.4. Durulaştırma 32
3.8.5. Çıktı 33
3.9. Bulanık Mantığın Hidrolojideki Yeri ve Önemi 33
3.10. Bulanık SMRGT Yöntemi 34
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 39
4.1. Model 1 Uygulaması 39
4.1.1. Bulanıklaştırma ve Üyelik Derecelerinin Atanması 39
4.1.2. Kural Tabanının Oluşturulması 43
4.1.3. Model Sonuçları 45
4.1.4. Model 1 Sonuçlarının Karşılaştırılması ve Tartışılması 47
4.2. Model 2 Uygulaması 50
4.2.1. Bulanıklaştırma ve Üyelik Derecelerinin Atanması 51
4.2.2. Kural Tabanının Oluşturulması 55
4.2.3. Model Sonuçları 57
4.2.4. Model 2 Sonuçlarının Karşılaştırılması ve Tartışılması 59
4.3. Model 3 Uygulama 62
4.3.1. Bulanıklaştırma ve Üyelik Derecelerinin Atanması 62
4.3.2. Kural Tabanının Oluşturulması 66
4.3.3. Model Sonuçları 68
4.3.4. Model 3 Sonuçlarının Karşılaştırılması ve Tartışılması 69
4.4. Ortalama Akış Katsayısının Bulunması 73
4.5. Örnek Uygulama 73
5. SONUÇ VE ÖNERİLER 77
6. KAYNAKLAR 79
ÖZGEÇMİŞ 85

ÖZET

AKIŞ KATSAYISININ BULANIK SMRGT YÖNTEMİ İLE MODELLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Derya KARAKAYA

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

2018

Günümüz şehirlerinin kalitesini büyük ölçüde gelişmiş alt yapı sistemleri belirlemektedir. Amacına uygun olarak iyi tasarlanmış bir alt yapı sistemi insan hayatını kolaylaştırmakta ve kentleşmeye ciddi katkılar sağlamaktadır. Yağmur suyu drenaj sistemi alt yapı sistemlerinin önemli bir unsurunu oluşturmaktadır. Kentsel gelişim ile birlikte yerleşim alanlarında asfalt, beton kaplama yollar, araç parkları ve benzeri geçirimsiz yüzeyler hem sayıca hem de alansal olarak artmaktadır. Bu nedenle özellikle şehir merkezlerinde yüzeye düşen yağmur suları daha büyük oranda ve daha kısa sürede akışa geçmektedir. Akışa geçen yağmur sularının çevreye zarar vermemesi için drenaj sistemleri aracılığıyla meskûn bölgelerden uzaklaştırılması gerekmektedir. Bunun için de yağış-akış ilişkisinin doğru bir şekilde belirlenmesi gerekir. Zira hidrolojik olarak akışın en doğru şekilde belirlenmesi sistemin hidrolik tasarımı açısından oldukça önemlidir. Bu ilişkiyi belirlemek amacı ile önerilmiş, güncel literatürde çok sayıda birbirinden farklı klasik (konvansiyonel) veya yapay zekâ tekniklerine dayanan; deterministik veya belirsizlik içeren; matematiksel veya fiziksel çok sayıda yöntem yer almaktadır. Hidrolojik olayları tam olarak tanımlamak oldukça güçtür çünkü bu olaylar karmaşıktır ve birçok belirsizlik içermektedir. Başka bir ifade ile birçok doğa olayının modellenmesinde olduğu gibi hidrolojik modeller de bulanıklık içermektedir. Bu yüzden hidrolojik modellemelerde deterministik yöntemler yerine belirsizlik içeren yöntemlerin kullanılması tercih edilebilir. Bu tercihi yaparken olayın fiziksel boyutunu göz ardı etmemek adına kara-kutu yöntemlerden kaçınılmalıdır. Bu çalışmada yağmur suyu drenaj sistemlerinde akış katsayısını belirlemek için hem belirsizlik içeren hem de hidrolojik olayın fiziğini koruyabilen bir yöntem olarak bulanık mantık (fuzzy logic) tercih edilmiştir. Bulanık modelleme, bulanık küme teorisi ve bir takım dilsel (linguistic) ve sayısal bilgiler içeren bulanık kural tabanına dayanmaktadır. Olayın fizik kısmı bulanık kümelerin tasarımında da olmakla birlikte daha çok bulanık kural tabanında yansıtılmaktadır. Dolayısıyla bir bulanık modellemede en önemli iki husus bulanık kümeleri ve bulanık kural tabanını doğru şekilde belirlemektir. Bu amaçla geliştirilen çok sayıda yöntem olmakla birlikte ikisini birlikte belirleme imkânını veren ve henüz yeni bir yöntem olan SMRGT (Simple Membership Functions and Fuzzy Rules Generation Technique) yöntemi tercih edilmiştir. SMRGT salt veri tabanlı bir yöntem olmadığı için kara-kutu sınıfında bir yöntem sayılmamaktadır. SMRGT yönteminin, olayın hem bulanıklığını hem de fiziğini koruyabildiği, oldukça gerçekçi sonuçlar verdiği ve deneme–yanılma sürecine ihtiyaç duymadığı mevcut

literatürden anlaşılmaktadır. SMRGT yöntemi ile tasarlanan program MATLAB programı kullanılarak çalıştırılmaktadır. Akış katsayısını belirlemek için geliştirilen model üç alt modelden meydana gelmektedir. Birinci alt model meteorolojik özellikleri, ikincisi arazi durumunu ve sonuncusu da zemin özelliklerini dikkate almaktadır. Daha sonra üç modelden elde edilen üç akış katsayısının ortalaması alınarak tek bir akış katsayısı elde edilmiştir. Modellerin sınır koşulları Türkiye verileri göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Ancak sınır şartları değiştirilerek yapılacak küçük bir değişiklik ile model tüm hidrolojik/meteorolojik, arazi kullanımı ve zemin özellikleri için geçerli kılınabilmektedir. Tezde modelin, Şırnak Üniversitesi yerleşke alanı için akış katsayısını veren örnek bir uygulaması da verilmiştir. Böylece akış katsayısı daha hassas bir şekilde hesaplanmaya çalışılmıştır. Ayrıca model, mevcut sınır şartları değiştirilerek dünyanın herhangi bir bölgesi için uygulama imkânını verebilmektedir.

Tez toplam altı ana bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümünde konunun amacı ve kapsamı hakkında bilgiler verilmiştir. Yağmur suyu drenajı sistemleri hakkındaki ulusal ve uluslararası basılı literatür çalışması ikinci bölümde, tezin yöntem bilimi (metodolojisi) ise üçüncü bölümde detaylandırılmıştır. Ardından, tez kapsamında geliştirilen modeller, örnek uygulamaları ve sonuçları detaylı bir şekilde dördüncü bölümde sunulmuştur. Sonuç ve öneriler ise beşinci bölümde verildikten sonra son bölümde tez çalışması kapsamında yararlanılan kaynakların listesine yer verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yağmur suyu drenajı, yağış, akış katsayısı, bulanık mantık, SMRGT

ABSTRACT

MODELING FLOW COEFFICIENT BY USING FUZZY SMRGT METHOD

MSc. THESIS

Derya KARAKAYA

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
UNIVERSITY OF DICLE

2018

The quality of today's cities is determined by advanced infrastructure systems. A functional and well-designed infrastructure system provides facilities for more comfortable human life and contributes significantly to urbanization. Rainfall drainage systems are important components of infrastructure systems. Paralleling to the development in urbanization, in residential areas impermeable surfaces i.e. asphalt, concrete coatings, car parks, and similar impermeable surfaces increase both in number and area. For this reason, the rainwater falling to the surface especially in city centers passes to the stream in a shorter time with higher flow ratio. In order to prevent environmental disasters, it is necessary to remove the rainfall from the residential areas by means of drainage systems as soon as possible. Therefore, rainfall-flow relationship must be correctly determined. This is vitally required for designing hydraulics system. There are many different conventional or artificial intelligence techniques; deterministic or empiric; mathematical or physical models developed for the aim available in the current literature. It is almost impossible to deterministically model the hydrological events, because such events are very complex and have many uncertainties. In another word, just as many other natural events, hydrological events also imply indistinctness. So in modeling hydrological events, it can be preferred the nondeterministic methods instead of deterministic ones. However, when making such a choice, the modeler should avoid from black-box methods in order not to ignore the physical dimension of the event. In order to model flow coefficient in this study, the fuzzy logic, which keeps both the uncertainties and physic of the phenomenon, has been preferred to other modeling techniques. The fuzzy logic modeling technique depends on both the fuzzy sets theory and fuzzy rules base, which consists of linguistic and quantitative if-then statements. It is possible to note that the physics of the event can be reflected in both designing of fuzzy sets and in the fuzzy rule base. Therefore, the two most important issues in a fuzzy modeling are to precisely determine the fuzzy sets and the fuzzy rule base. Although there are many methods developed for this purpose, SMRGT (Simple Membership Functions and Fuzzy Rules Generation Technique), which is a new and capable to precisely determine both the fuzzy sets and fuzzy rules base together, has been chosen. On the other hand, SMRGT is not a purely data-based; it is not considered among black-box methods. It is understood from the current literature that the SMRGT keeps uncertainties and physics of the event, give quite realistic results and do not need trial and error process. The program designed by using the SMRGT method is operated in MATLAB software. The model developed to determine the flow coefficient consists of three sub-models. The first sub-model takes into account the meteorological features, the second and the last one takes into account the land use conditions and the soil characteristics, respectively. Then, a single flow coefficient was obtained by taking

the average of the three flow coefficients obtained from the three models. The model's exists for Turkey. However, with a small change to be made by changing the boundary conditions of the models, the model can be validated for all hydrological / meteorological, land use and soil characteristics. In the thesis, an application of the model has been given and flow coefficient for the campus area of Sırnak University has been determined. Thus, the coefficient of flow has been tried to be calculated more precisely. In addition, the model can be applied to any part of the world by changing the existing boundary conditions.

The thesis consists of six chapters. Following to the introduction chapter, the literature up to date is discussed. The third chapter contains the methodology of the thesis. The development of the models and their applications together with their results' discussion are presented in chapter four. The work is concluded in chapter five. The last chapter includes the list of references investigated for the thesis.

Key Words: Storm drainage, rainfall, runoff coefficient, fuzzy logic, SMRGT

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge No		Sayfa
Çizelge 3.1.	Arazi eğim değerleri	27
Çizelge 3.2.	Çeşitli zeminler için sızma kapasitesi değerleri	28
Çizelge 4.1.	Model 1 değişkenleri için kullanılan çekirdek değerler	40
Çizelge 4.2.	Model 1 için SMRGT bulanık kural tablosu	44
Çizelge 4.3.	Model 1 kullanılan veri kümeleri ve sonuçları	48
Çizelge 4.4.	Model 1 sonuçlarına ait istatistikler ve hatalar	49
Çizelge 4.5.	Model 1 değişkenleri için korelasyon katsayıları matrisi	49
Çizelge 4.6.	Model 2 değişkenleri için kullanılan çekirdek değerler	51
Çizelge 4.7.	Model 2 için SMRGT bulanık kural tablosu	55
Çizelge 4.8.	Model 2 kullanılan veri kümeleri ve sonuçları	59
Çizelge 4.9.	Model 2 sonuçlarına ait istatistikler ve hatalar	60
Çizelge 4.10.	Model 2 değişkenleri için korelasyon katsayıları matrisi	60
Çizelge 4.11.	Model 3 değişkenleri için kullanılan çekirdek değerler	62
Çizelge 4.12.	Model 3 için SMRGT bulanık kural tablosu	66
Çizelge 4.13.	Model 3 kullanılan veri kümeleri ve sonuçları	70
Çizelge 4.14.	Model 3 sonuçlarına ait istatistik büyüklükler ve hatalar	71
Çizelge 4.15.	Model 3 değişkenleri için korelasyon katsayıları matrisi	71

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil No		Sayfa
Şekil 3.1.	Hidrolojik çevrim	20
Şekil 3.2.	Sulama sisteminin hidrolojik çevrim içindeki yeri	22
Şekil 3.3.	Türkiye 1970-2017 yılları arası ortalama sıcaklık dağılımı	25
Şekil 3.4.	Türkiye 1980-2017 yılları arası ortalama rüzgâr dağılımı	26
Şekil 3.5.	Arazi kullanımına bağlı olarak zeminlerin akış oranları	27
Şekil 3.6.	Bulanık Mantık çıkarım sistemi genel yapısı	31
Şekil 3.7.	Dik üçgen ve trapez üyelik fonksiyonları gösterimi	35
Şekil 3.8.	Model için çekirdek değer, anahtar değer ve birim genişliğin gösterimi	36
Şekil 4.1.	Model 1 akış şeması	39
Şekil 4.2.	Model 1 girdileri	40
Şekil 4.3.	Rüzgâr girdisine ait bulanık kümelerin görünümü	41
Şekil 4.4.	Sıcaklık girdisine ait bulanık kümelerin görünümü	41
Şekil 4.5.	Akış katsayısı (%) çıktısına ait bulanık kümelerin görünümü	42
Şekil 4.6.	Model 1 için üretilen kuralların MATLAB görünümü	45
Şekil 4.7.	Kuralların MATLAB ile grafiksel görünümü	46
Şekil 4.8.	Akış katsayısının rüzgâr ve sıcaklığa bağlı olarak değişimi	46
Şekil 4.9.	Model ve data sonuçlarının karşılaştırılması	48
Şekil 4.10.	Model 2 akış şeması	50
Şekil 4.11.	Model 2 girdileri	51
Şekil 4.12.	Eğim girdisine ait bulanık kümelerin görünümü	52
Şekil 4.13.	Arazi kullanımı girdisine ait bulanık kümelerin görünümü	52
Şekil 4.14.	Akış katsayısı (%) çıktısına ait bulanık kümelerin görünümü	53

Şekil 4.15. Model 2 için üretilen kuralların MATLAB görünümü 56

Şekil 4.16. Kuralların MATLAB ile grafiksel görünümü 57

Şekil 4.17. Akış katsayısının eğim ve arazi kullanımına bağlı olarak değişimi 57

Şekil 4.18. Model ve data sonuçlarının karşılaştırılması 58

Şekil 4.19. Model 3 akış şeması 61

Şekil 4.20. Model 3 girdileri 62

Şekil 4.21. Sızdırmazlık girdisine ait bulanık kümelerin görünümü 63

Şekil 4.22. Doygunluk derecesi girdisine ait bulanık kümelerin görünümü 63

Şekil 4.23. Akış katsayısı (%) çıktısına ait bulanık kümelerin görünümü 64

Şekil 4.24. Model 3 için üretilen kuralların MATLAB görünümü 67

Şekil 4.25. Kuralların MATLAB ile grafiksel görünümü 68

Şekil 4.26. Akış katsayısının doygunluk derecesi ve sızdırmazlığa bağlı olarak değişimi 68

Şekil 4.27. Model ve data sonuçlarının karşılaştırılması 69

Şekil 4.28. Şırnak ili konumu 73

Şekil 4.29. Şırnak ili çevresi 73

Şekil 4.30. Şırnak Üniversitesi Kampüs yerleşkesi 74

KISALTMA VE SİMGELER

ANFIS : Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi

ANN : Yapay Sinir Ağları

AO : Az-Orta

ARIMA : Tek Değişkenli Otoregresif Bütünleşik Hareketli Ortalama

ARIMAX : Çok Değişkenli Otoregresif Bütünleşik Hareketli Ortalama

BM : Bulanık Mantık

CBS : Coğrafi Bilgi Sistemleri

ÇA : Çok Az

ÇD : Çok Düşük

ÇY : Çok Yüksek

D : Düşük

EPA : Amerika Birleşik Devletleri Çevreyi Koruma Ajansı

FHWA : Amerika Birleşik Devletleri Federal Otoyol Müdürlüğü

FRs : Bulanık kurallar

G : Arazi kullanımı

GA : Genetik Algoritma

I : Sızdırmazlık

MCA : Çoklu Kriter Analizi

MFs : Üyelik Fonksiyonları

MGM : Meteoroloji Genel Müdürlüğü

O : Orta

OKH : Ortalama Karesel Hata

OKKH : Ortalama Karekök Karesel Hata

OMH : Ortalama Mutlak Hata (Ortalama Standart Hata)

OMRH : Ortalama Mutlak Rölatif (bağıl) Hata

OY : Orta-Yüksek

Q_{maks} : Kanala intikal eden maksimum debi

R : Korelasyon katsayısı

S : Eğim

SCS-CN : Toprak Koruma Servisi- Eğri Numarası

SMRGT : Basit Üyelik Fonksiyonları ve Bulanık Kural Üretim Tekniği

SVM : Destek Vektör Makinesi

SVR : Destek Vektör Regresyonu

SWAT : Toprak ve Su Değerlendirme Aracı

SWMM : Yağmur Suyu Yönetim Modeli

T : Sıcaklık

W : Rüzgâr

Y : Yüksek

YSA : Yapay Sinir Ağları

YSTS : Yağmur Suyu Toplama Sistemi

R_{maks} : Birim zamanda bölgeye düşen maksimum yağış miktarı

C : Akış katsayısı

a_1 : Meteorolojik akış katsayısı

a_2 : Arazi koşullarına bağlı akış katsayısı

a_3 : Zemin özelliklerine bağlı akış katsayısı

A_i : Farklı özelliklere ait alanlar

C_{ort} : Ortalama akış katsayısı

Q : Yağmur suyu kanalına gelen debi

r : Hesap yağmuru verimi

i : Yağış şiddeti

t : Yağış süresi

S_r : Doygunluk derecesi

V_w : Su hacmi

V_v : Boşluk hacmi

C_i : Bulanık küme çekirdek değerleri

UW : Bulanık küme birim genişliği

K_i : Bulanık küme anahtar değerleri

X_R : Değişim aralığı

$X_{max,min}$: En yüksek ve en düşük değişken değerleri

EUW : Taban genişliği

n_u : Dik üçgen sayısı

O : Çakışan komşu üyelik kümelerinin değerleri

X_m : Ortalama değer

S_x : Standart sapma

C_{sX} : Çarpıklık katsayısı

1. GİRİŞ

Günümüzde dünya nüfusunun ve su ihtiyacının çeşitlenerek artması, küresel boyuttaki su ticareti, gıda gereksinimine bağlı olarak sulu tarımda artış, plansız kentleşme, çevre kirliliğinin artması ve küresel iklim değişikliğine bağlı olarak su kaynakları daha da yetersiz hale gelmektedir. Su yenilenebilir bir kaynak olmasına rağmen yukarıda belirtilen nedenlerden ötürü yeryüzünde birçok bölgenin yakın zamanda su stresi veya su kıtlığı yaşaması beklenmektedir (Kadıoğlu, 2008; Toprak ve ark., 2013). Yer altı ve yerüstü su kaynakları, buzul ve kar kaynakları dâhil olmak üzere tüm su kaynaklarının ve yağışların konumsal ve zamansal olarak homojen dağılmamasından ötürü dünyada bazı bölgeler şu an ciddi su kıtlığı yaşamaktadır. Diğer taraftan, nüfus yoğunluğunun yeryüzüne homojen bir şekilde dağılmadığı söylenebilir. Benzer şekilde mevcut tatlı su kaynaklarının da nüfus yoğunluğuyla orantılı bir şekilde dağılmaması nedeniyle su kıtlığı yaşayan bölgelerin sayısının ve bundan etkilenecek olan nüfusun gittikçe artması beklenmektedir. Suya dair bu tür sorunların giderek artması alternatif su kaynakları kullanım teknolojilerinin tüm dünyada yaygınlaşmasına neden olmaktadır. Bu bağlamda sulamadan dönen, evsel ve sanayi atık suları gibi gri veya tam kirli sular ile yağmur suyu şebekeleri ile toplanan suların (yağmur suyu hasadı) tekrar kullanımı son dönemlerde daha fazla önem kazanmıştır.

Yağmur suları, özenli bir şekilde toplanması halinde, en az kirlenmiş sular olarak değerlendirilmekte ve birçok insan faaliyetinde kullanılabilmektedir. Su kaynakları iyi bir şekilde yönetilmediği takdirde suyun yeterince varlığına rağmen, özellikle kurak dönemlerde ciddi su sıkıntısı ve su kirliliği gibi problemler yaşanabilmektedir. Kentleşmenin beraberinde getirdiği geçirimsiz yüzeylerin artmasıyla yağışlı dönemlerde yağmur suyu kaynaklı sel ve taşkın olayları önemli derecede hayati ve maddi hasarlara sebep olabilmektedir. Bu durum, beraberinde şu soruyu akla getirmektedir: Sudan yararlanmak mümkün iken neden ondan yeterince yararlanılmıyor, üstelik onun zararlarına maruz kalıyoruz? Bu sorunun cevabı bu çalışma kapsamında incelenecektir.

Nüfus artışına, teknolojik ilerlemelere ve sanayideki gelişmelere bağlı olarak kentleşme oranı artmakta ve yeni yerleşim yerleri kurulmaktadır. Kentsel gelişim ile

meskûn bölgelerde şehirlerarası otoban, asfalt veya beton kaplama yollar, bina çatıları, araç parkları gibi geçirimsiz yüzeyler sayıca ve alansal olarak artmaktadır. Bu yüzeylere düşen yağmur suyu çok kısa sürede yüzey akışına geçmektedir. Böylece ev ve işyerleri, kaldırımlar, kent içindeki alt geçitler, yollar ve benzeri birçok yapı zarar görmektedir. Meydana gelmesi olası bu tür sorunları gidermek ve yağmur suyunu zamanında güvenilir bir şekilde tahliye etmek için iyi planlanmış ve etkin bir yağmur suyu kontrol sistemi günümüz belediyelerin vazgeçilmezi haline gelmiştir. Etkin bir yağmur suyu kontrolü aynı zamanda yağmur suyu hasadı için de büyük önem taşımaktadır.

Kent merkezlerinde yağmur suyunun kontrolü, büyük ölçüde akışa geçecek olan yağış miktarı veya bunun oranının (akış katsayısı) doğru belirlenmesine bağlıdır. Güncel literatürde yağış – akış ilişkisine (Alley ve Veenhuis 1979; Lee ve Bang 2000; Granata ve ark. 2016), akış katsayısının belirlenmesine ve yağmur suyunun hasadı veya tahliyesi için gerekli yapıların boyutlandırılmasına (Özdağlar ve ark. 1997; Villarreal ve Dixon 2005; Silkinş, 2017), yağmur suyu depolama ve taşıma sistemlerine (Tripathiand ve ark.2005; Demir, 2012; Bocanerga-Martinez ve ark. 2014), yağışların geçirimsiz tabakalar ve trafiğe etkisine (Stephenson ve ark. 1999; Brattebo ve Booth 2003; Nnadi, E.O. ve ark. 2015), yağmur suyu hidrolik hesap tasarımına, yağmur suyu drenaj sistemlerinin ekonomik analizi ve optimizasyonuna (Çatalbaş, 1999;Martin, ve ark.2006; Zhou ve ark. 2013) yazılım kullanılarak yapılan yağmur suyu drenaj sistemleri modelleme çalışmalarına (Irish ve ark. 1998; Gözütok, 2009; Unami ve ark. 2015) yönelik çok sayıda çalışma mevcuttur. Bu çalışmalar bir sonraki başlık altında detaylı bir şekilde tartışılmıştır. Bu tezin konusu ile en ilgili çalışmalar özellikle yağış – akış ilişkisi üzerinde yapılan çalışmalar olduğundan bu çalışmalar daha yakından incelenmiştir. Literatürde yağmur suyu drenaj sistemlerinde akış katsayısının tespit edilmesi üzerine herhangi bir modelleme konusuna rastlanmamıştır.

Yapay Sinir Ağları, Genetik Algoritma ve benzeri yapay zekâ teknikleri veya bunlar gibi diğer kara kutu yöntemler esas alınarak geliştirilen modellerin (ki bu modeller genellikle salt veri esaslıdır) hangi havza veya bölge için geliştirilmiş ise sadece o havza/bölge için geçerlidir. Başka bir ifade ile genelleştirilemezler (Toprak, 2004). Oysa fizik esaslı modeller herhangi bir havza/bölge için geçerli olacakları için genelleştirilebilmektedir. Bu tez çalışmasında, meskûn herhangi bir bölgede akış katsayısını tahmin eden fiziksel bir model geliştirilmiştir. Model, bulanık mantık

yöntemi kullanılarak geliştirilmiştir. Operatör olarak Mamdani yaklaşımı seçilmiştir. Zira Tagaki – Sugeno (1985) yaklaşımı bulanık mantığı fizik esaslı olmaktan uzaklaştırırken daha çok kara kutu yöntemlere yaklaştırmaktadır (Toprak, 2004; Toprak 2009). Model girdi ve çıktılarının bulanıklaştırılması, başka bir ifade ile üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi için Toprak (2009) tarafından önerilen Simple Membership Functions and Fuzzy Rules Generation Technique (SMRGT) yöntemi kullanılmıştır. Aynı yöntem (SMRGT) bulanık kural tabanının belirlenmesi için de kullanılmıştır. Zira üyelik fonksiyonları veya bulanık kural tabanının YSA (Yapay Sinir Ağları), GA (Genetik Algoritma) ve benzeri kara kutu yöntemlerle belirlendiği/optimize edildiği takdirde elde edilecek olan model de fizik esaslı değil; kara kutu model olacaktır. SMRGT yöntemi bulanık mantığın bulanıklığını yok etmediği gibi fiziksel olma özelliğini de korumaktadır. Bu yüzden hem üyelik fonksiyonlarının hem de bulanık kural tabanının belirlenmesinde bu yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemin göreceli olarak daha yeni olması da tercih nedenlerinden bir diğeridir.

Tez çalışması kapsamında yağmur suyu drenaj sistemlerinde kullanılmak üzere bir akış katsayısı hesaplama yöntemi önerilmiştir. Önerilen yöntemin örnek uygulaması Şırnak Üniversitesi Kampüs alanı için verilmiştir. Sırasıyla SMRGT yöntemine göre önce Model 1 kurularak Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınan sıcaklık ve rüzgâr verileri ile meteorolojik akış katsayısı (a_1) bulunmuştur. Model 2'de eğim ve arazi kullanımı değerlerine göre arazi özelliklerine bağlı akış katsayısı (a_2), Model 3'te sızdırmazlık ve doygunluk derecesi değişkenlerine göre zemin özelliklerine bağlı bir akış katsayısı (a_3) belirlenmiştir. Son olarak her üç modelin ortalaması alınıp yeni bir akış katsayısı hesaplanmıştır. Böylece, meteorolojik, arazi koşulları ile zemin cinsi değişkenlerini içeren bir akış katsayısı modeli geliştirilmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Yağmur Suyu Drenajı Sistemleri Hidrolik Hesap Tasarımı ile İlgili Çalışmalar

Özdağlar ve ark. (1997), yağmur suları ve atık suların ayrı ayrı toplandığı ayrık sistem yağmur suyu şebekelerinin boyutlandırılması için bir bilgisayar programı hazırlamışlardır. Bu program ile teknik ve hidrolik açıdan uygun boru çapları ve eğimler ile ilgili bütün büyüklükleri hesaplamıştır. Eğim ve kotun yetersiz olduğu bölgelerde, yağmur suyu şebekesini boyutlandırmak için hazırlanan bu programla kısa farklı şebeke geçişleri için hesap yapılarak en ekonomik çözümün bulunabileceğini belirtmişlerdir.

Stephenson ve ark. (1999), yaptıkları çalışmada karstik bölgelerde yağmur suyu yüzeysel akışının otobanlarda yer altı suyunu kirletme potansiyelini incelemişlerdir. Yağmur suyu ile taşınan maddelerin karstik alanlarda doğrudan akifere veya yüzeyden taşınarak yer altı suyuna ulaşabileceğini ortaya koymuşlardır.

Lee ve Bang (2000) tarafından yağmur suyu ile taşınan kirletici maddelerin özellikleri ve kentsel alanlardaki yüzeysel akış ilişkilerini incelemişlerdir. Bu çalışmada, geçirimsiz alanlarda yüzeysel akış ile kirlilik konsantrasyonunun arttığı sonucuna varılmıştır. Kentleşme ile geçirimsiz tabaka artışının kirlilik taşıdığı hakkında açıklayıcı bilgiler vermişlerdir.

Maheepala ve ark. (2001), kaliteli hidrolojik verilerin kentsel yağmur suyu drenaj sistemlerinin planlanması, tasarlanması ve iyileştirilmesi için oldukça önemli olduğuna değinmişlerdir.

Brattebo ve Booth (2003), otopark alanlarındaki geçirimsiz asfalt kaplamaya alternatif olarak geçirimli kaplama kullanımının uzun vadeli etkilerini değerlendirmişlerdir. 4 otopark alanında geçirimli kaplamaların fiziksel dayanıklılıklarının tespit edilmesi için 6 yıl boyunca inceleme yapmışlardır. Bu otopark kaplamalarında bir aşınma ya da yıpranma gözlemlenmemiştir. Meydana gelen en şiddetli yağışlarda dahi yağmur suyu geçirimli kaplamadan emilerek neredeyse yüzeysel akış meydana gelmemiştir. Ayrıca asfalt kaplamada oluşan yüzeysel akış örneklerinde yabancı maddeler belirlenmiş olup geçirimli tabakadan alınan su örneklerinde bu bulgulara rastlanılmamıştır. Bu şekilde geçirimli tabakaların kullanım alanlarının

yaygınlaştırılmasının hem yüzeysel akışı azaltacağı hem de çevreye karşı daha duyarlı olacağı hususlarını belirtmişlerdir.

Tripathiand ve Pandey (2005), artan yeraltı suyu tuzluluğu ve yeraltı sularının aşırı kullanılmasından dolayı tehlike altında olan Hindistan'ın Zura bölgesinde yağmur suyundan yararlanmak adına ortalama yağış miktarı 332 mm olan bölgede yağmur suyu toplama sistemleri ile yağmur suyu hasadı potansiyelini tespit etmek için bir çalışma yapmışlardır.

Villarreal ve Dixon (2005), içme suyu temini için yağmur suyu kullanımı farklı şekillerde incelenerek analiz edip yağmur suyu toplama sisteminin su toplama verimliliğini ölçmek için bilgisayar modeli oluşturmuşlardır. Analiz sonuçlarına göre önerilen yağmur suyu tankı boyutlandırılmış, büyük çatılara sahip birçok binada yağmur suyu sistemleri yerleştirilmesi için ciddi bir potansiyelin mevcut olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca atık su arıtımı, yağmur suyu yönetimi ve kentsel çevredeki su kaynaklarının değerlendirilmesi gibi hususları ortaya koymuşlardır.

Coşar ve Önen (2005), evsel ve endüstriyel atık sularının yağmur suları ile beraber toplandığı birleşik kanalizasyon sisteminin arıtma, pompaj ve maliyet gibi unsurlardan dolayı ülkemiz dâhil pek çok ülkede ayrık sistemin tercih edildiği ve halen uygulamada çalışmalara devam edildiğine değinmişlerdir. Antalya ilinde 6 farklı bölgede yapılan çalışmalarda; yağmur sularının atık su kanallarına etkisi, yağmur suyu kanalları inşa edilirken bağlantıların dikkatli yapılması, ayrık sistem kanalizasyon şebekesinin çatı yağmur sularının aşırı yüklemeye maruz kalması durumunda ortaya çıkacak problemleri ve çözüm yöntemlerini belirtmişlerdir.

Şahin (2006), meskûn alanlarda yağmur suyu drenajının yapılabilmesi için kullanılan yağmur suyu giriş tiplerinden ve ülkemizde yaygın olarak kullanılan ızgara tipi girişler üzerine çalışma gerçekleştirmiştir. En uygun giriş tiplerinin belirlenmesi ve hidrolik hesaplar için önceden FHWA (Amerika Birleşik Devletleri Federal Otoyol Müdürlüğü) tarafından yapılan deneylerin verilerini kullanarak elde edilen sonuçlardan faydalanmıştır. Izgaranın hidrolik verimliliğini karşılaştırmak için FHWA yapmış olduğu çalışmada hidrolik verimliliğin akımın miktarına bağlı değişimi incelemiştir. Akım yönüne paralel olarak dizilen ızgara çubuklarının, akım yönüne dik olan ızgara çubuklarına göre hidrolik performansının daha iyi olduğu sonucuna varmıştır.

Furumai ve ark. (2008), Japonya'da yağmur suyu toplama ve depolama sistemlerindeki son eğilimi açıklamak için bir çalışma yürütmüşlerdir. Evsel amaçlar için farklı su kullanımlarını göz önüne alarak yağmur suyu depolama tanklarının değiştirilmesi, yağmur suyu depolama tesislerinin çok amaçlı kullanımının olumlu bir şekilde teşvik edilmesi gerektiğine değinmişlerdir. Farklı çatı tipleri göz önüne alınarak yağmur suyu depolama ve hasat tesislerinin potansiyelinin tahmini içinde gerekli olan uydu görüntüsü ve CBS verileri kullanılarak çatıların detaylı arazi örtüsü sınıflandırması üzerine araştırmalar sunmuşlardır.

Yu (2008), çalışmasında dünya üzerindeki ülkelerin politikalarını ekolojik bir bakış açısıyla kentsel gelişim, su tasarrufu, kıyı kirliliği ve kontrolü gibi konular üzerinde su yönetimi için hayati önem taşıyan kentsel yağmur suyu yönetim stratejisi geliştirilmesi hususunun gerekliliğine dikkat çekmiştir.

Avcuoğlu (2008), meskûn alanlardaki yolların yağmur suyu drenajı için kullanılan yağmur suyu giriş yerleri, teknik özellikleri ve hidrolik verimlilikleri açısından incelemiştir. Bordürlerde ve caddelerde ayrılan giriş yerlerinden, ikisinin birleşiminden oluşan bileşik giriş ve ızgaralı girişlerden bahsetmiştir. Yağmursuyu giriş yerleri deney verileri kullanılarak değişen boyuna eğimlerle hidrolik verimlilik yönünden karşılaştırılarak zayıf ve güçlü yönleri belirtilmiştir.

Khastagir ve Jayasuriya (2010), yıllık yağış, yağmur suyu talebi, toplama alanı ve tedarik güvenilirliği dikkate alınarak belli bir coğrafi bölgede yapılan yağış depolarının yeni bir metodoloji ve optimum yağmur suyu tankı boyutlandırması için matematiksel bir ilişki sunmuşlardır.

Jang ve ark. (2010), otoyollarda biriken suyun yağmur suyu drenaj sistemlerinde depolanması ve yeniden değerlendirilmesi üzerine çalışma yapmış ve çeşitli amaçlar için yağmur suyunun kullanılabileceğini ortaya koymuşlardır.

Karatepe (2011), meskûn bölgelerdeki yağmur suyu drenajını inceleyip drenaj şekilleri ve tipleri ile ilgili teknik özellik ve detayları ile beraber drenaj hatlarının giriş yerleri hakkında bilgi vermiştir. Yağmur suyunu uzaklaştıran giriş yerleri hidrolik hesapları ve tasarım kriterlerinden bahsederek bunların arasında karşılaştırma yapmıştır. Çalışma kapsamında ızgara giriş yerleri yapılmış ve rapor edilen verilerden faydalanarak tablolar halinde özetlemiştir.

Karakoçak (2011), Kayseri ilinin su ve atık su problemlerini ortaya koyarak pilot bir proje geliştirmiştir. Kayseri Harikalar Diyarı Su-Kay Parkı'nın yıllık yağmur suyu kayıtlarına göre toplanacak net su miktarı belirlenmiştir. Parkta akışa geçecek olan suyun miktarının ve dinamik özelliklerinin değerlendirilmesi için buharlaşma miktarları, sıcaklık ve akışa geçen kar suyu miktarı EPA (Amerika Birleşik Devletleri Çevreyi Koruma Ajansı) tarafından geliştirilen SWMM (Yağmur Suyu Yönetim Modeli) programı kullanılarak modele yansıtılmış, analiz sonuçlarıyla beraber yağmur suyunun belirtilen kalite kriterleri doğrultusunda sulama ve yüzme suyu kullanımı için uygun olduğu tespit edilmiştir.

Toy (2011), özellikle kış aylarında uzun süreli ve şiddetli yağışların oluştuğu Antalya'da yağışlar sonucunda meydana gelen taşkına maruz kalan kentin mevcut yağmur suyu drenaj sistemini incelemiştir. Artan kentleşme ile geçirimsiz yüzey oranının yüksek olması, yağmur sularının önemli bir kısmının doğrudan akifere girmesini engellediğine değinmiştir. Mevcut sistemin geliştirilmesi için depolama havuzu, ekolojik çatılar, bekletme havuzu, ana kolektörler ve tünel gibi diğer teknik çözümlerin dikkate alınıp alternatif çözüm önerileri sunarken bölgenin taşkınlardan daha az etkilenmesi konularında da açıklayıcı bilgiler vermiştir.

Imteaz ve ark. (2012), yağmur suyu deposu performansını ve tasarımını değerlendirmek için basit tablo tabanlı günlük su dengesi modeli geliştirmiştir. Analizde günlük yağış verileri, çatı havza alanı, yağış kaybı faktörü, mevcut depolama hacmi, tank taşması ve su talebini kullanmışlardır. Aylık ortalama yağış verileri kullanılarak yapılan analizlerin gerekli yağmur suyu tankı büyüklüğünü olduğundan daha fazla tahmin ettiğini tespit etmişlerdir. Çalışmada yazarlar, faydaları en üst düzeye çıkarma konusunda büyük yağmur suyu depoları için optimizasyon ve maliyet analizinin önemini vurgulamıştır.

Demir (2012)'de, İTÜ Ayazağa yerleşkesi örneği üzerinde konvansiyonel ve sürdürülebilir yağmur suyu drenaj sistemleri projelendirilerek bu sistemler bazı özellikleri bakımından kıyaslanmıştır. Bölge içindeki bina yerleşimleri ve yollar dikkate alınarak alt havzalara ayrılıp yağış analizleri incelenerek proje alanı için arazi kotları, her havza için ayrı akış katsayıları hesaplamıştır. StormCAD yazılımı kullanılarak havzalardan gelecek olan yağmur suyu debileri eldeki veriler ile hesaplanıp, yağmur

suyu drenaj hattı güzergâhını ve drenaj projesini çizmiştir. Drenaj projelerine bütüncül yağmur suyu yönetim sistemlerinin dahil edilmesi ve sonuçlarının somut olarak belirtilmesi sürdürülebilir drenaj politikalarının oluşturulmasında, su kaynaklarının korunmasında, sel ve taşkın risklerinden korunma konusunda yardımcı olacağını ortaya koymuştur.

Santos ve Taveira-Pinto (2013), yağmur suyu tankı boyutlandırması için altı farklı hesaplama yöntemini tanımlamaya ve analiz etmeye çalışmıştır. Bu yöntemler günlük yağış verileri ve içilemeyen su talebi dikkate alınarak sistemin günlük çalışmasının simülasyonlarına dayanmaktadır. Günlük bir simülasyon yapılırken asıl amaç depolama hacmini tanımlamak için en iyi kriterlerin tanımlanmasına katkıda bulunmaktır. Yöntemleri uygulamak amacıyla bir konut ve bir kamu binası için yağmur suyu toplama sistemi kullanmışlardır. Verimliliğin de hesaplandığı çalışmada yöntemin uygulanabilirliği sonucuna varılmıştır.

Bocanerga-Martinez ve ark. (2014), yerel yağmur suyu toplama sistemi tasarlamak için optimizasyon temelli bir yaklaşım önermektedir. Modelde toplanan yağmur suyunun en uygun şekilde toplanması, depolanması ve dağıtımı için yağmur suyu toplama cihazlarını, borular ve depoların kurulumunu göz önünde bulundurmaktadır. Elde edilen sonuçlar ile uzun vadeli sistemin kullanımının maliyetini azalttığı ve su talebinin yüksek bir yüzdesinin karşılandığı gösterilmiştir.

Harb (2015), ODTÜ-KKK (Orta Doğu Teknik Üniversitesi Kuzey Kıbrıs Kampüsü)'de yapılan çalışmada yağmur suyu toplama sistemleri kurmak için yeterli potansiyelin varlığını araştırmıştır. 1978-2009 yıllarına ait aylık ve günlük yağış verileri kullanılarak yüzey akışının hesaplanması için SWMM yazılımı kullanılmıştır. Çalışma sonucunda sulama amaçlı kullanım için kampüse yağmur suyu toplama sistemlerinin kurulmasının uygun olduğu tespit edilmiştir.

Nnadi ve ark. (2015), geri dönüşümü sağlanan yağmur sularının sürdürülebilir su yönetiminin bir parçası ve sulama suyuna alternatif bir kaynak olarak kullanılabilme potansiyeline sahip olduğunu belirtmektedir. Sulama için yağmur suyu toplamanın geçirimli asfalt sistemlerde suyun geri dönüşümünün kimyasal açıdan kalitesi de araştırılmıştır.

2.2. Yağmur Suyu Drenaj Sistemleri Optimizasyonu ve Modelleme Çalışmaları

Alley ve Veenhuis (1979), yağış-akış modellemesinin havza karakteristik özelliklerini belirlemedeki güçlükler, işlemler ve sınırlamalardan bazılarına değindikten sonra metodolojinin büyük kısmının SWMM gibi diğer yağış-akış modellerine aktarılmasının mümkün olacağını açıklamaktadır.

Tsihrintzis ve Hamid (1997), noktasal kaynaklı olmayan kirliliğin yağış esnasında taşınmasında Amerika'daki kentsel yağış suyunun akış kontrol ve planlamasına ilişkin mevzuat ve diğer çalışmaları incelemektedir. Ayrıca çalışmada hem modelleme hem de yağmur suyu yönetimi konusundaki durum analizlerine ve Amerika'da kullanılan mevcut hidrolojik ve su kalitesi kullanılan matematiksel modellere de değinmektedir.

Irish ve ark. (1998) tarafından, toplanan yağmur suyu verileri ile karayolu akışında yaygın olarak bulunan bazı maddelerin yüklerini tahmin etmek için regresyon modeli geliştirilmiştir. Modelin amacı karayolu akış kalitesini etkileyen süreçleri tanımlamaktır. Yapılan analiz, otoyol akışı tarafından taşınan yüklerin tahmininde regresyon denklemlerinin kullanılabileceğini göstermektedir. Modelde kullanılmak üzere seçilen açıklayıcı değişkenlerin hem bilimsel hem de istatistiksel açıdan oldukça önemli olduğuna değinmişlerdir. Bir model geliştirilmesinde yağmursuyu içerisindeki kirleticilerin üretilmesi ve taşınması ile ilgili çeşitli aşamaların göreceli önemine değinilmiş problem ve çözüm yöntemleri belirtilmiştir.

Çatalbaş (1999) yağış şiddetinin yağmur suyu drenaj sistemlerinin tasarımında projenin ekonomik olması ve fonksiyonlarını yerine getirebilmesi açısından oldukça önemli olduğunu belirtmiştir. Çalışmada hesap yoğunluğunu büyük oranda azaltan STORMCAD paket programı kullanılmıştır. Ayrıca program farklı yinelenme süreleri için tasarımı yineleyerek fayda masraf analizine göre optimum karar vermeyi kolaylaştıran sistemin plan ve kesitlerini bilgisayarda ek bir işleme gerek duyulmadan elde etmiştir. Hesaplamalarda ve projenin oluşturulmasında Denizli Organize Sanayi bölgesi seçilip yağmur suyu drenaj projesi tasarımı yapılmıştır.

Zoppou (2001) tarafından kentsel yağmur suyu modelleri incelenerek yağmur suyu modelleme yöntemlerine genel bir bakış sağlanmıştır. Çalışmada, mevcut kullanımdaki çok sayıda yağmur suyu modelinin yaklaşım ve yeteneklerini kapsamlı bir

şekilde araştırarak modelleme yapmak isteyenlere fayda sağlayacak bir çalışma ortaya konmuştur.

Villareal ve Bengtsson (2004), yağmur suyu yönetimi üzerine, yeşil çatılar, sızma, bekletme ve geciktirme havuzları gibi çeşitli seçenekleri araştırmışlardır. Söz konusu seçeneklerini kaynaklar, kamu beklentisi, uygun yer seçimi ve beklenen faydaları da dikkate alınarak düzenlemişlerdir.

Martin, Ruperd ve Legret (2006), MCA (multi criteria analysis) çoklu kriter analizi yaklaşımı ile kentsel yağmur suyu drenaj sistemlerinin yönetimi için kaynak kontrolü, hidrolik verimlilik, kirliliği azaltma, çevresel etkiler, işletme ve bakım, ekonomik yatırım, sosyal ve sürdürülebilir kent yaşamını da göz önünde bulunduran bir çalışma olduğunu belirtmişlerdir.

Efe (2006)'de, atık su ve yağmur suyu toplayıcı sistemleri modelinin temelini oluşturan bağıntılar hakkında bilgiler verilerek bilgisayar destekli modeller farklı hidrolik ve hidrolojik tasarım kriterleri ile değerlendirilmiştir. Yazar, modelleme programlarının planlama çalışması ve mevcut sistemdeki eksikliklerin tespitine yönelik çalışma ile meydana gelebilecek taşkınların önlenmesiyle olumsuzlukların azaltılmasında etkili olduğunu belirlemektedir. Çalışmada ayrıca 10 Şubat 2006'da Bursa'da yağış sonrası meydana gelen taşkının nedeni InfoWorks CS modelleme programı ve simülasyon yardımı ile incelenmiş ve buna yönelik çözüm önerilerinde bulunulmuştur.

Grady ve Younos (2008), bir hane için, yağmur suyu toplama sisteminin su ve enerji tasarrufunu analiz etmişlerdir. Çalıştıkları bölgede yer altı suyunu ve yağmur suyu toplama sistemlerinin verimliliğini analiz edip karşılaştırmışlardır. Çatıdaki yağış suyunu toplayıp bir yeraltı depolama tankına ileten yağmur suyu toplama sistemi, açık veya kapalı mekânlarda kullanıldığı gibi yağmur suyunun içilebilir tüketim için de uygun olduğunu belirtmişlerdir.

Mirhan (2009), yağmur suyu drenaj sistemlerinin projelendirilmesinde, göz önünde bulundurulan bölgenin iklimi, yağıştan akışa geçen su miktarını belirleyen akış katsayısı ve görülen yağış-şiddet-süre ilişkisinin projenin gerçekliliği yönünden oldukça önem taşıdığına değinmiştir. Yağmur suyu şebekesi gibi çok ciddi yatırım maliyetleri gerektiren projelerin planlanmasında, sistemin uzun ömürlülüğü ve her türlü sel

rejimine karşı dayanabilir olması gerektiğini vurgulayarak gerekli önlemlerin alınmaması durumunda şiddetli bir yağış esnasında birçok problemin olabileceğini belirtmiş ve optimum boru kesitinin tayin edilmesi hakkında bilgiler vermiştir.

Talei ve ark. (2010)'de, bulanık mantık ve yapay sinir ağları uygulamalarının birçok alanda kullanılmakla birlikte kullanımın, özellikle yağış-akış modelleri gibi hidrolojik modellemelerde sınırlı olduğu ifade edilmektedir. Singapur Kranji havzasında yağış-akış ilişkisine dayanan durumlarda bir nöro bulanık hesaplamalı teknik olarak ANFIS (Uyumlu Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi)'e dayalı bir uygulama sunmuşlardır. Çalışmada yaklaşık iki yıllık 66 yağış olayından elde edilen yağış akış verilerini kullanarak analiz yapılmıştır. ANFIS yağış akış modelinin performansı, fiziksel tabanlı SWMM ile karşılaştırılmıştır. ANFIS modelinin pik debi tahmini konusunda SWMM ye kıyasla daha iyi olduğunu belirtmişlerdir.

Campisano ve Modica (2012), evsel yağmur suyu toplama sistemlerinin optimum tasarımı için boyutsuz bir metodoloji sunmuşlardır. İşlem için İtalya'nın Sicilya kentinde 17 yağış ölçüm istasyonunda gerçekleştirilen günlük su denge simülasyonlarının sonuçları kullanılmıştır. Yazarlar, yıllık yağış modellerini geliştirmek için yeni bir boyutsuz parametre tanımlamış, yağmur suyu toplama sistemlerinde su tasarrufu ve taşma miktarlarını tahmin etmek için de bölgesel modeller geliştirmiştir. Çalışmada, asgari maliyet temelli bir yaklaşım ile elde edilen modeller optimum evsel yağmur suyu toplama sistemlerinde depolama/toplama tankı boyutlandırılmış ve model sonuçlarına dayanarak yağış azaldıkça büyük tankların ekonomik uygulanabilirliğinin azaldığı tespit edilmiştir.

Zhou ve ark. (2013), artan yağışları iklim değişikliğine bağlamakta ve iklim değişikliğine bağlı olarak da taşkın riskinin arttığını belirtmektedir. Disiplinler arası bir çalışma ile bazı adaptasyon seçeneklerini sunmaktadır. Çalışmada, aşırı yağışlarla mücadele edebilmek için sunulan bu alternatif adaptasyon yöntemler esas alınarak kentsel su baskınları modellenmiştir. Ayrıca, sayısal bir taşkın risk yöntemi kullanılarak sosyoekonomik bir analiz yapılmıştır.

Nnajiand Mama (2014), Nijerya'da yağmur suyu toplama potansiyelini değerlendirmek için taşkın hafifletme ve yerli su teminine odaklanan bir araştırmanın sonuçları sunulmuştur. Çalışmada, yağmur suyu toplamanın, su temini ve kentsel akışı

düzenleme maliyetinin fark edilir düzeyde hafifletmek için uygun bir seçenek olduğu sonucuna varılmıştır.

Sample ve Liu (2014) tarafından farklı arazi kullanımları için merkezi olmayan yağmur suyu toplama sistemleri, yağmur suyu analizleri ve uygun simülasyon programı kullanılarak yağmur suyu toplama sistemlerinin fayda maliyet modeli geliştirilmiştir. Simülasyonlarda su temini ve akış tutma güvenilirliği için her durum ve konum için geçerli olacak şekilde doğrusal olmayan sezgisel algoritmalar kullanılmış ve yaklaşık optimal çözümler bulunmuştur.

Yağmur suyu toplama sistemlerinin kurak dönemlerde sulama suyu olarak kullanılması potansiyelini araştıran bir çalışma Unami ve ark. (2015) tarafından yapılmıştır. Çalışmada, stokastik diferansiyel denklemleri içeren bir matematiksel model geliştirilmiştir. Model parametreleri ise gözlemsel verilerden hesaplanmıştır. Elde edilen modeller en uygun sulama sisteminin bulunması için çözülmüştür.

Su toplama tanklarının ve cihazlarının uygun şekilde kullanılması ile taşkın kontrolü ve kentsel yağmur suyu drenaj sistemlerinin çok amaçlı optimum tasarımı Duan ve ark. (2016) tarafından araştırılmıştır. Granata ve ark. (2016) ise yağış akış modellemesinde SVM (Support Vector Machine) ve SWMM karşılaştırmıştır. Çalışma alanı olarak İtalya'da iki farklı havza seçilmiştir. Her iki modelin de kabul edilebilir bir performans gösterdiği ve SVR (Support Vector Regression) algoritmasının pik debiyi olduğundan fazla, SWMM'nin ise yüksek bir tahmin yapma eğiliminde olduğu ortaya konmuştur. Ayrıca SVR'nin kentsel hidroloji alanında uygulanabilir bir potansiyele sahip olduğu ancak model kalibrasyonu ile ilgili sınırlamaların bulunduğu belirtilmiştir.

Ali (2016), sürdürülebilir bir su kaynağı için yağmur suyu toplama sistemlerinin (YSTS) etkili bir çözüm yöntemi olduğuna değinmiştir. Bu sonuca varmak için üniversitede seçilen bazı binaların çatılarından yağmur suyu (YS) toplanmış ve aynı binalarda kullanılmıştır. Böylece yağmur suyu tasarrufu verimliliği tespit edilmiştir.

De Paola ve ark. (2017) ise analitik ve yinelenme modülü olmak üzere iki aşamalı bir yaklaşımla SWMM kullanarak kentsel yağmur suyu drenaj sistemlerinde depolama tankı konumlarını optimize etmiştir. Optimizasyon, taşkınları, askıda katı madde yükünü ve depolama maliyetini en aza indirgemek için yapılmıştır.

Yağmur suyunun kullanılmasına yönelik bir diğer ilginç çalışma ise Patel ve Desai (2017) tarafından yapılmıştır. Araştırmacılar, yer altı suyu beslenme kuyularının yağmur suyu drenaj sistemi ile bağlantılı olarak kullanılması fikrini önermiş ve optimum kuyu çapını tespit etmiştir. Sonuç olarak yer altı suyu beslenmesi ile yağmur suyu drenaj sistemlerinde yeni teknikler geliştirmenin birçok yönden avantajlı olduğu; geleneksel drenaj sistemiyle karşılaştırıldığında %25.43'lük maddi fayda sağladığı, yükselen yer altı suyunun miktarı ve suyun kalitesini geliştirmeye yardımcı olduğunu ortaya koymuşlardır.

2.3. Yağış – Akış İlişkisini Modellemeye Yönelik Çalışmalar

Özel olarak yağış – akış ilişkisini modellemeye çalışan ve kanaatimizce önemli sayılan birkaç çalışmadan söz etmekte yarar vardır. Shamseldin (1997) ve Alp ve Cığızoğlu (2010) yağış – akış ilişkisini YSA (Yapay Sinir Ağları) yöntemi ile belirlemiştir. Oysa YSA tabanlı modeller kara-kutu modellerden sayıldığı söylenebilir. Bu nedenle salt veri esaslı olarak geliştirilen bu tür modellerin diğer kara kutu yöntemler gibi genelleştirilmeleri sağlıklı olmamaktadır. Nitekim Solomatine ve Dulal (2003), yağış – akış ilişkisinin modellenmesi için YSA'ya alternatif olmak üzere model ağaçları (Model trees) yöntemini önermektedir. Chlumecky ve ark. (2017) ise aynı amaçla genetik algoritmayı kullanmıştır. Ancak rahatlıkla söylenebilir ki GA da kara – kutu yöntem sınıfında değerlendirilmektedir. Dolayısıyla aynı eleştiri bu ve bunun gibi diğer modeller için de yapılabilir. Yine yağış – akış ilişkisinin modellenmesi için yeni ve kısmen kabul edilebilir diğer bir çalışma da Tasdighi ve ark. (2018) tarafından yapılmıştır. Yazarlar, SWAT (Toprak ve Su Değerlendirme Aracı) ile birlikte olası karma arazi kullanımları için yağış – akış modelini önermektedir. Bunların dışında, Toprak Koruma Servisi tarafından önerilen ve oldukça popüler sayılan Curve Number SCS-CN (Toprak Koruma Servisi- Eğri Numarası) yöntemi kullanılarak geliştirilen yağış-akış modeli Grimaldi ve ark. (2013) tarafından önerilmiştir. Chandwani ve ark. (2015) ise yine çeşitli paket programları kullanarak geliştirilen yağış-akış modelleri üzerine oldukça ayrıntılı bir değerlendirme yapmıştır. Yazarlar, Yapay Sinir Ağları, Genetik Algoritma ve Bulanık Mantık gibi yapay zekâ tekniklerinin disiplinler arası bir alanı olduğunu, bu tür tekniklerin birbirini tamamlayan çeşitli istatistik, olasılık ve optimizasyon araçlarını kullanan veya kendi başlarına çalışabilen, doğrusal olmayan veya gürültülü olan karmaşık veya bilinmeyen ilişkileri modelleyebildiğini

belirtmektedir. Ancak yazarlar çalışmalarında bu teknikleri yağış-akış ilişkisi özelinde tartışmaktadır. Daha çok belirtilen tekniklerin özel olarak yağış-akış ilişkisinin modellenmesinde başarılı ve kabul edilebilir olduğu yönünde olumlu görüş belirtmektedir. Örneğin YSA için yazarlar, "incelemelerinin bu teknikleri uygulayarak, karmaşık analitik yöntemin bir dereceye kadar önlenebileceğini göstermiştir. YSA için deneyimsel veya tarihsel verilerden öğrenme, karmaşık, bilinmeyen ve yağış ile akış arasındaki fonksiyonel ilişkileri tanımlamak için bir omurga oluşturabilir" denmektedir. Ancak her ne kadar bu teknikler geleneksel matematiksel tekniklerine nazaran bir dereceye kadar daha zekice ve zaman kazandırıcı olsalar da dezavantajları da mevcuttur. BM hariç bu tekniklerin en büyük dezavantajları fizik sebep-sonuç ilişkisine dayanmaması, kara kutu yöntem sınıfında sayılmaları ve dolayısıyla genelleştirilememeleridir.

2.4. Akış Katsayısını Belirlemeye Yönelik Çalışmalar

Merz ve ark. (2006) akış katsayısının zamansal ve konumsal değişkenliği üzerinde çalışmıştır. Yazarlara katılmamak mümkün değildir. Zira aynı havza veya bölge için bitki örtüsü, arazi kullanımı, yağış türü ve şiddeti gibi dinamik değişkenler zamanla (uzun yıllar) ve yıl içinde (mevsimden mevsime) değişkenlik göstermektedir. Dinamik değişkenler açısından birbirine benzer havza veya bölgelerin ise eğim, toprak geçirgenliği gibi dinamik olmayan süreçler farklılık arz edebilir.

Yağış- akış ilişkisi, olay esaslı akış katsayıları ve hidrograf ayrımı üzerinde duran bir çalışma da Blume ve ark. (2007) tarafından kaleme alınmıştır. Ancak bu çalışmada özel olarak bir akış katsayısını belirlemeye yönelik bir model geliştirilmemiş ve önerilmemiştir.

Sriwongsitanon ve Taesombat (2011) ise arazi kullanımının (arazi kaplamasının) akış üzerindeki etkisi üzerinde durmuştur. Elbette ki arazi kullanımının veya kaplamasının akış katsayısı üzerinde önemli etkisi vardır. Bulanık SMRGT yöntemi ile bu tez çalışması kapsamında geliştirilen modelin bir alt modelinde bu etki yansıtılmıştır.

Büyük havzalarda akış katsayısının hesaplanmasına yönelik detaylı bir çalışmayı da Pektaş (2012) yapmıştır. Ancak mevcut çalışmada akış katsayısının belirlenmesine yönelik geliştirilen ve önerilen bulanık SMRGT modeli (fizik sebep-sonuç ilişkisine göre geliştirildiği için) küçük veya büyük tüm havzalar için geçerli olabileceği

düşünülmektedir. Aynı yazar başka bir çalışmasında akış katsayısını belirlemek için ANN (Yapay Sinir Ağları) hybrid model versus ARIMA (Tek Değişkenli Otoregresif Bütünleşik Hareketli Ortalama) ve ARIMAX (Çok Değişkenli Otoregresif Bütünleşik Hareketli Ortalama) yöntemlerini kullanmıştır (Pektaş ve Cigizoglu, 2013). Grillone ve ark. (2014) ise ampirik olarak yıllık ortalama akış katsayısını Akdeniz Bölgesi için belirlemiştir. Benzer bir çalışma da Suudi Arabistan'ın Al-Baha Bölgesi için yapılmıştır (Mahmoud ve ark., 2014). Daha önce belirtildiği gibi akış katsayısı zamana ve konuma bağlı olarak değişmektedir. Burada zamansal ortalamanın alınması önemli görülmektedir. Lemma ve ark. (2018) ise konumsal ölçeğin akış katsayısı üzerindeki etkisini araştırmıştır. Anılan son iki çalışma birleştirilirse belki akış katsayısının her boyuttaki değişkenliği daha iyi incelenebilecektir. Mevcut tez çalışmasında bir bölgenin ve zamanın değişen girdilerine göre model gerçekçi sonuçlar verebilmektedir. Başka bir ifade ile her iki makalenin muhteviyatı akademik olarak birleştirilmiştir.

Bu tez çalışmasına, tez kapsamında verilen örnek uygulama nedeniyle en yakın çalışma Yin ve ark. (2017) tarafından yapılmıştır. Yazarlar akış katsayısını belirlemek için ters zaman serisi analizini kullanmıştır. Bu yöntem de değerlendirilmeye değer bir yöntemdir. Nitekim bu yöntem, geleceğe yönelik veya geriye doğru bir tahmin değil; mevcut durumun tespiti, başka bir ifade ile bir havza veya bölge için hâlihazırda kullanılmak üzere bir akış katsayısını belirlemeye yönelik bir çalışmadır. Yerleşim birimi için bir akış katsayısını belirlemeye yönelik olduğundan bu tez konusuna yakın bir çalışma olarak değerlendirilmiştir.

2.5. Literatür Özeti Üzerinde Tartışma

Yukarıda "Kaynak Özetleri" ana başlığı altında verilen "**Yağmur Suyu Drenajı Sistemleri Hidrolik Hesap Tasarımı ile İlgili Çalışmalar**", "**Yağmur Suyu Drenaj Sistemleri Optimizasyonu ve Modelleme Çalışmaları**", "**Yağış – Akış ilişkisini Modellemeye Yönelik Çalışmalar"** ve "**Akış Katsayısını Belirlemeye Yönelik Çalışmalar"** alt başlıkları ile verilen literatür çalışmasından kolayca anlaşılacağı üzere özel olarak akış katsayısını belirlemeye yönelik modelleme ile ilgilenen araştırmacı sayısı azdır. Çalışmaların çoğu yağmur suyu drenaj sistemleri ile ilgilidir. Doğrudan akış katsayısının belirlenmesine yönelik son derece sınırlı çalışma mevcuttur. Tez konusu ile daha yakından ilgili olması nedeniyle bu çalışmalar ayrıca detaylı bir şekilde kritik edilmiştir. Çalışmanın metodolojisinin (yöntem biliminin) sunulduğu bir sonraki

ana başlık altında da ayrıca bilinen klasik yöntemler detaylandırılmıştır. Mevcut ana başlık altında verilen literatür özeti ana hatları ile aşağıdaki maddeler halinde kritik edilmiştir:

1. Önerilen yöntemlerin birçoğu bilinen klasik yöntemlerdir.
2. Yapay zekâ teknikleri ile geliştirilen yöntemlerin çoğu fizik sebep – sonuç ilişkisine dayanmamaktadır. Dolayısıyla genelleştirilmesi güven vermemektedir.
3. Yağmur suyu drenaj sistemleri optimizasyonuna ilişkin çalışmaların hemen hiçbirinde akış katsayısının hesaplanmasında yeni bir yaklaşım önerilmemektedir.
4. Bulanık mantık yöntemini kullanan sadece bir çalışmaya rastlanmıştır. Bu çalışma da bulanık model YSA ile optimize edilmiş ki YSA ile optimizasyon bulanık mantığın fizik sürecini yok etmektedir.
5. Maalesef bu çalışmaların bir kısmı, dikkatle incelendiğinde konu ile ilgili paket programlar kullanılarak modelleme yapılmıştır. Ancak önerilen modellerin model olmaktan öte teknik bir rapor olarak değerlendirilmesi mümkündür.

Bilindiği üzere yağmur suyu drenaj şebekelerinin boyutlandırılmasında, optimizasyonunda veya modellenmesinde vazgeçilmez değişken akış katsayısıdır. Oysa yukarıda belirtildiği üzere literatürde mevcut çalışmaların çok azı bu katsayıyı yeni bir yaklaşım ile belirlemeye yöneliktir. Olanların bir kısmı da literatürden çok iyi bilinen klasik çalışmalardır. Bu tez çalışmasında ise sonraki bölümlerde detayları görüleceği üzere yağış – akış ilişkisini belirleyen akış katsayısının belirlenmesinde yeni bir yaklaşım önerilmiştir. Bulanık SMRGT yöntemi ile geliştirilen bu yeni katsayıyı belirleme tekniği fiziksel sebep – sonuç ilişkisini dikkate almaktadır. Bu nedenle genelleştirilebilir ve herhangi bir havza veya bölge için kullanılabilmektedir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Yağmur Suyu Drenajının Amacı

Gelişmiş altyapı sistemleri günümüz şehirlerinin en önemli kalite göstergesidir. Bu amaçla yapılacak olan alt yapı sistemlerinin son teknoloji kullanılarak modern ve en verimli şekilde tasarlanması gerekmektedir. Diğer tüm altyapı sistemleri gibi yağmur suyu drenaj sistemlerinin de çok dikkatli bir şekilde projelendirilmesi, uzun ömürlü olması ve ihtiyacı karşılaması açısından oldukça önemlidir. Etkin bir yağmur suyu drenaj sistemi ile aşağıdaki faydaları sağlamak mümkündür:

- Yağışlar ile trafiğin tıkanması ve yolların hasar görmesi gibi kent içi yollarda trafik güvenliği açısından oluşacak problemleri en aza indirmek
- Yerleşim bölgelerinde sel ve taşkınların meydana gelmesini önlemek
- Dere yataklarında toprak erozyonunu önlemek
- Dik vadilerde yağışlardan dolayı yapıların maruz kalabileceği toprak kaymalarını önlemek

3.2. Yağmur Suyu Projelerinde Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar

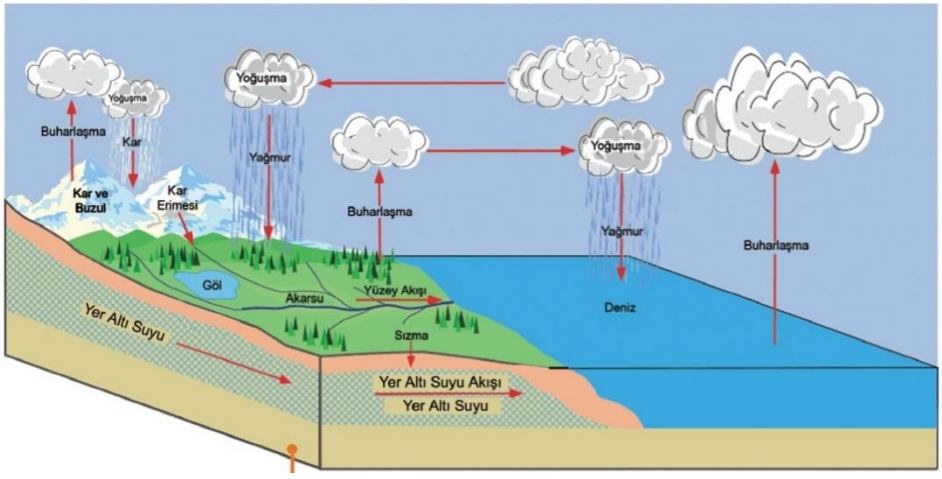
Yağmur suyu drenaj sistemlerinin en önemli iki amacı yağış suyunun kontrollü bir şekilde yerleşim bölgelerinden uzaklaştırılması ve yağış suyu hasadının yapılmasıdır. Dolayısıyla projelerin belirtilen amaçlardan ikisini veya en azından birini gerçekleştirebilecek düzeyde fonksiyonel olması gerekir. Proje debisinin ya hassas bir şekilde ölçülerek ya da hassas bir şekilde tahmin edilerek doğruya en yakın şekilde belirlenmesi gerekir. Bunun için ayrıca bölgenin/havzanın eğimi ve diğer sabit veya dinamik özellikleri göz önünde bulundurularak en uygun yöntem ile akış katsayısı tespit edilmelidir. Diğer taraftan yağış şiddeti ve süresi ile bu yağış suyunun ne kadarının ne kadar bir süre içinde projelendirilen kanala geleceği belirlenmelidir. Bunun yanında bu suyun ne kadarının yüzeysel akış ne kadarının yer altı suyu akışı olarak kanalı besleyeceği de önemlidir. Bu hesaplamalardan sonra drenaj ve toplama sistemleri hidrolik olarak boyutlandırılır. Dolayısıyla hidrolojik parametrelerin güvenilir bir şekilde hesaplanıp değerlendirilmesi oldukça önemlidir. Yağmur suyu drenaj sistemleri projelendirilirken; iklim özellikleri, yağış şiddeti ve süresi, yüzeysel akış miktarı, yağmurun verimi, toplanma süresi ve drenaj alanı gibi hidrolojik özellikler ile yağmur

suyu giriş yerleri, kanal hesabı, boru çapları ve doluluk oranı gibi hidrolik özellikler göz önünde bulundurulması gereken önemli değişkenlerdendir.

3.3. Yağmur Suyu Drenajında Yüzeysel Akışın Önemi

Havzaya düşen yağış yerçekimi etkisi ile arazinin eğimine uyarak havzanın yüksek noktalarından alçak noktalarına doğru hareket eder. Yağışın, sızma, buharlaşma vb. kayıplar çıktıktan sonra geriye kalan kısmı "yüzeysel akış" haline geçer. Yağmur suyu drenaj sistemleri projelendirilirken yüzeysel akış durumu göz önünde bulundurulur. Akışın kanala giren kısmı akış katsayısı yardımıyla bulunur. Akış katsayısı, boyutsuz olup belirli bir süredeki akış yüksekliğinin aynı süredeki yağış yüksekliğine oranına denir. Bir diğer deyişle havza için, yağmur suyu toplama kanalına gelecek olan en büyük debi ile birim zamanda bölgeye düşen maksimum yağış miktarı arasındaki orandır (Karpuzcu, 2005). Bir drenaj alanı için verilen yüzeysel akış katsayısı sabit bir oran olarak kullanılmasına rağmen gerçekte bu katsayı, yağış ve yüzeysel akış arasındaki kayıplar ile iklimsel ve mevsimsel değişimler ve zemin özelliklerine bağlı olarak farklı olabilmektedir. Bu durumda akış katsayısı tespit edilirken bitki örtüsü, bölgenin jeolojik-hidrojeolojik-jeomorfolojik ve diğer hidrolojik değişkenlere de dikkat edilmesi gerekmektedir (Hall, 1984).

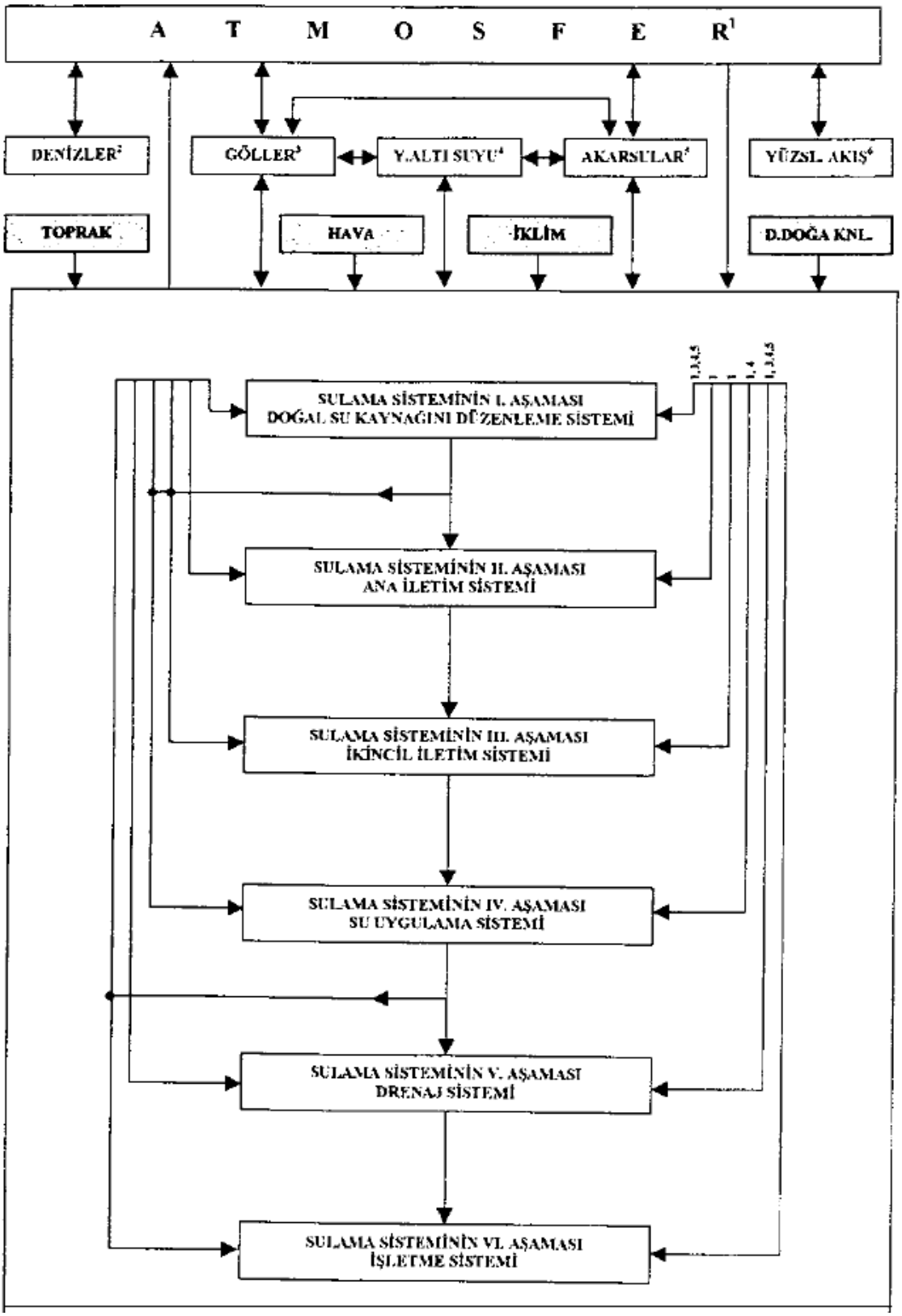
3.3.1. Hidrolojik Döngü



Şekil 3.1. Hidrolojik çevrim (cografyasozlugu, 2018)

Yağmur suyu drenajı için önemli bir konu da hidroloji bilimidir. Suyun doğadaki döngüsü hidroloji mühendisliği açısından oldukça önemlidir. Kara ve denizlerdeki

suyun güneş enerjisi ve bitki terlemeleriyle buharlaşarak atmosfere karışması, atmosfer içinde gaz halinde bulunan bu suyun yağmur haline dönüşerek yeryüzüne yeniden inmesi, yeryüzüne inen bu suyun yer altı ve yer üstü suları halinde denizlere ulaştıktan sonra tekrar buharlaşarak atmosfere yükselmesi şeklindeki sürekli yenilenen doğal sürece *hidrolojik çevrim* denir (Şekil 3.1). Bu çevrim için gerekli enerji güneşten ve yerçekiminden sağlanır. Mühendislik Hidrolojisi açısından Hidrolojik çevrim; atmosfer biriktirme sisteminden yüzeysel biriktirme sistemine düşen yağışın bir kısmı sızma yoluyla zemin nemi biriktirme sistemine, oradan süzülme yoluyla yer altı biriktirme sistemine geçmektedir (Bayazıt M.,1999). Şekil 3.2'de hidrolojik çevirimde insan müdahalesini de gösteren bir şema görülmektedir (Toprak,1994; Toprak, 2001). Yağmur suyu drenaj sistemleri açısından bu döngü oldukça önemlidir. Yerleşim alanına düşen yağışın akışa geçen miktarı doğru ve hassas bir şekilde hesaplanabilirse, hidrolik tasarım daha verimli olacak ve kanallara geçecek olan debinin en kısa sürede uzaklaştırılması sağlanacaktır. Aksi durumda sistemin akışı iyi bir şekilde hesaplanamaz ise yerleşim alanlarında daha önce bahsettiğimiz sel, taşkın gibi ciddi problemler yaşanacaktır. Görüldüğü üzere etkin bir yağmur suyu drenaj sisteminin hidrolik tasarımı için hidrolojik verilerin doğru bir şekilde değerlendirilmesi oldukça önemlidir.



Şekil 3.2. Sulama sisteminin hidrolojik çevrim içindeki yeri (Toprak, 1994; Toprak, 2001)

3.4. Yağmur Suyu Drenajında Akış Katsayısının Hesaplanması

Yağmur suyu drenaj sistemlerinde bir kanalın toplama havzasına düşen yağışların tümü kanallara ulaşmaz. Bir kısmı sıcaklık ve rüzgâr etkisiyle buharlaşır, bir kısmı yüzey boşluklarında tutulur, bir kısmı da zeminin cinsine bağlı olarak sızar. Geriye kalan kısmı ise kanallara intikal eder. Yağışın akışa geçen bu kısmı akış katsayıları yardımı ile hesaplanmaktadır. Akış katsayısı, belirli bir havza için kanalın maksimum debisiyle birim zamanda bölgeye düşen maksimum yağış miktarı arasındaki orandır. Akış katsayısı Denklem 3.1'de ifade edildiği üzere '*C*' ile gösterilir.

$$C = \frac{Q_{maks}}{R_{maks}} \qquad (3.1)$$

Q_{maks}*:* Kanala intikal eden maksimum debi

R_{maks}*:* Birim zamanda bölgeye düşen maksimum yağış miktarıdır.

Akış katsayısı, 0 ila 1 arasında değişen boyutsuz bir katsayıdır. Akış katsayısının değeri, yüzey kaplama cinsi, zeminin özellikleri, bitki örtüsü, yüzey eğimi, yağmurun şiddeti ve süresi, bölge iklimi, hava sıcaklığı ve nem gibi faktörlere bağlıdır. Bir bölgede değişik özelliklerde alanların bulunması halinde, ortalama bir akış katsayısı hesaplanır. Farklı özelliklere sahip alanlar ile bu alanlara özgü akış katsayısı çarpılarak toplanır ve toplam alana bölünür. Denklem 3.2' deki bağıntıdan hesaplanır.

$$C_{ort=}\frac{C_1 * A_{1+}\ C_2\ * A_{2+\cdots}}{A_1 + A_2\ + \cdots} \qquad (3.2)$$

$A_{1,2}$: Farklı özelliğe sahip alanlar

$C_{1,2}$: Bu alanlara ait her bir bölgenin akış katsayısı

Yağmur suyu kanallarına gelen debi, rasyonel metoda göre yağış ile dolaysız akış arasında lineer bir ilişki olduğu yani akış katsayılarının zamanla değişmediği ve yağışın tüm drenaj alanına üniform olarak düştüğü kabul edilir. Bu yöntemin kökleri Mulvaney (1851) ve Kuichling, (1889) çalışmalarına dayanmaktadır. Yağışın meydana getireceği maksimum debi, Denklem 3.3'teki bağıntı ile hesaplanır.

$$Q = A.r.C \qquad (3.3)$$

Q: Debi (L/sn)

A: Alan (ha)

r: Proje yağış verimi (L/sn.ha)

C: Akış katsayısı

Kanallara gelen debinin hesabında proje yağış şiddeti ve süresi önemli rol oynamaktadır. Bu çalışmada özellikle akış katsayısının yağmur suyu drenaj sistemlerinde debi hesaplanırken üstlendiği önemli rol göz önünde bulundurulup birtakım modeller kurulmuştur. Literatür incelendiğinde *C* akış katsayısı 0 ve 1 arasında değerler ile farklı sınıflandırılmalara tabi tutularak tablo halinde sunulmuştur. Örneğin iskân durumuna, kaplama cinsine, nüfusa ve arazi kullanımı şekline göre birçok sınıfta karşımıza çıkmaktadır. Bu değerlerin tablolardan doğrudan okunup hesap yapılması sağlıklı bir çözüm değildir. Çünkü bir drenaj alanında farklı özelliklere bağlı olarak akış katsayısı değişiklik gösterebilmektedir. Bu çalışmada *C* akış katsayısını etkileyen parametreler ile birden fazla etkene bağlı olarak *C* katsayısının hassas bir şekilde hesaplanması amaçlanmıştır.

3.5. Yağmur Suyu Drenaj Sistemlerinde Akışa Etki Eden Faktörler

3.5.1. Meteorolojik Faktörler

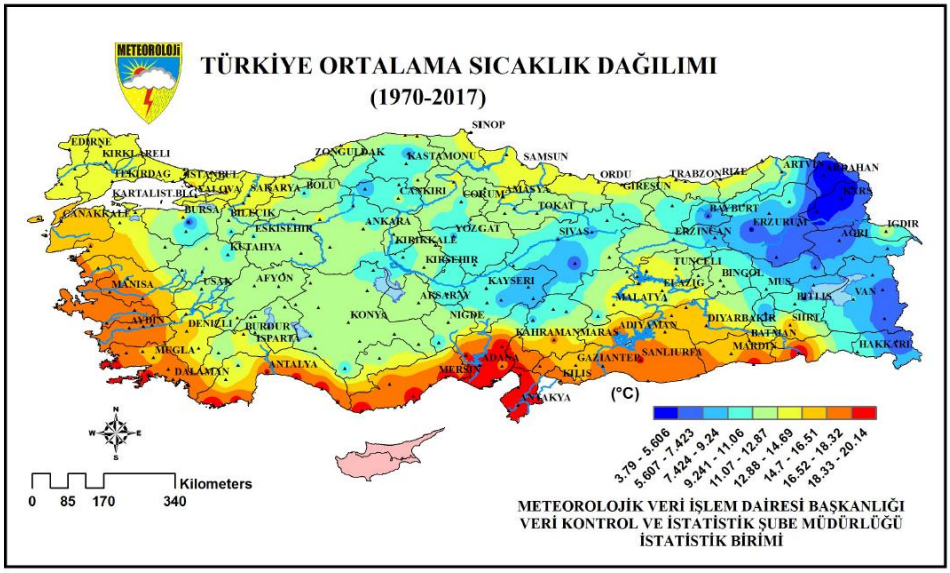
3.5.1.1.Yağış şiddeti

Birim zamanda düşen yağmur miktarına yağış şiddeti denir. Bir *t* süresinde bir yüzeye düşen yağmurun yüksekliği (mm), buharlaşma (mm), sızma (mm) vb. kayıplar olmayacak tarzda ölçülürse; yağış şiddeti (*i*, mm/dk), yağış yüksekliği (*P*, mm), yağış süresi (*t*, dk), aşağıdaki ifade (3.4) ile hesaplanır (Karpuzcu, 2005). Yağmur suyu drenaj sistemlerinde yağış şiddetinin yüksek olması meydana gelecek akışın fazla olmasını sağlar. Bu çalışmada yağış şiddeti ayrıca bir parametre olarak modele eklenmemiş, yağış şiddetinin maksimum düzeyde olduğu varsayılarak diğer faktörlerin etkisi kurgulanmıştır.

$$i = \frac{dP}{dt} \qquad (3.4)$$

3.5.1.2.Sıcaklık

Yağışın meydana geldiği durumda sıcaklık buharlaşmayı etkileyerek akışta farklı durumlar oluşturabilir. Buharlaşmanın günlük ve yıllık değişimlerinin, sıcaklığın günlük ve yıllık değişimlerine çok benzediği bilinmektedir. Yağış esnasında sıcaklık fazla ise buharlaşma artacağından akış miktarı azalırken, sıcaklık düşük ise akış artacaktır. Bu çalışmada modelin sıcaklık (℃) değerleri için Meteoroloji Genel Müdürlüğü verileri temin edilerek (Şekil 3.3) Türkiye ortalama sıcaklık dağılımı 1970-2017 yılları arasında kullanılmıştır. Modelde en düşük değer olarak 0°C, en yüksek değer olarak da 21°C olarak seçilmiştir.



Şekil 3.3. Türkiye 1970-2017 yılları arası ortalama sıcaklık dağılımı (MGM, 2018)

3.5.1.3.Rüzgâr

Yağış olayı esnasında buharlaşmanın devam etmesi için su buharının su yüzeyinden uzaklaşması gerekir. Bu durum havanın hareketi (rüzgâr) ile mümkündür. Rüzgâr hızı ne kadar fazla olursa buharlaşma o kadar fazla olur. Bu durumda rüzgâr hızının fazla olması akışı azaltırken düşük olması akışı arttırır. Bu çalışmada modelin rüzgâr (*m/s*) değerleri için Meteoroloji Genel Müdürlüğü verileri temin edilerek (Şekil 3.4) Türkiye ortalama rüzgâr hızı dağılımı için 1980-2017 yılları arası kullanılmıştır. Modelde en düşük değer 0 m/s, en yüksek değer 6.5 m/s olarak seçilmiştir.



Şekil 3.4. Türkiye 1980-2017 yılları arası ortalama rüzgâr dağılımı (MGM, 2018)

Bu bölümde hali hazırdaki buharlaşma verilerinin kullanılmamasının nedeni alınan buharlaşma ölçümlerinin yeterince hassas olmamasından, buharlaşma üzerinde oldukça etkili olan sıcaklık ve rüzgâra bağlı olarak daha detaylı bir hesap yapılacağı göz önünde bulundurulmuştur. Sıcaklık ve rüzgârın buharlaşma üzerindeki etkisi ile ilgili literatürde kesin değerler mevcut değildir. Uzman görüşü ve deneyimine dayanarak buharlaşma üzerinde modelde sıcaklığın %60 ve rüzgârın %40'lık bir etkiye sahip olduğu düşünülmektedir.

3.5.2. Arazi Özelliklerine Bağlı Faktörler

3.5.2.1.Eğim

Eğim havzalarda ve şehirlerdeki yağmur suyu drenaj hesaplamalarında akış üzerinde oldukça önemli bir etkiye sahiptir. Eğer eğim az ise suyun hareketi daha yavaş olacağından akışa geçecek olan su miktarı da azalır. Eğim fazla ise suyun hareketi daha hızlı olacağından akış artacaktır. Bu kısımda eğim değerleri 0°-90° arasında seçilmiştir. Ülkemizde düz alanlar olmasına karşın engebeli ve dağlık araziler daha fazla yer kaplamaktadır. Model ülkemiz arazileri ve yerleşim alanları düşünülerek kurulduğu için maksimum değer ifade edildiği üzere 90° ve minimum değer 0° olarak seçilmiştir. Çizelge 3.1 de Arazilerin eğim dereceleri beş sınıfa ayrılarak verilmiştir. Model

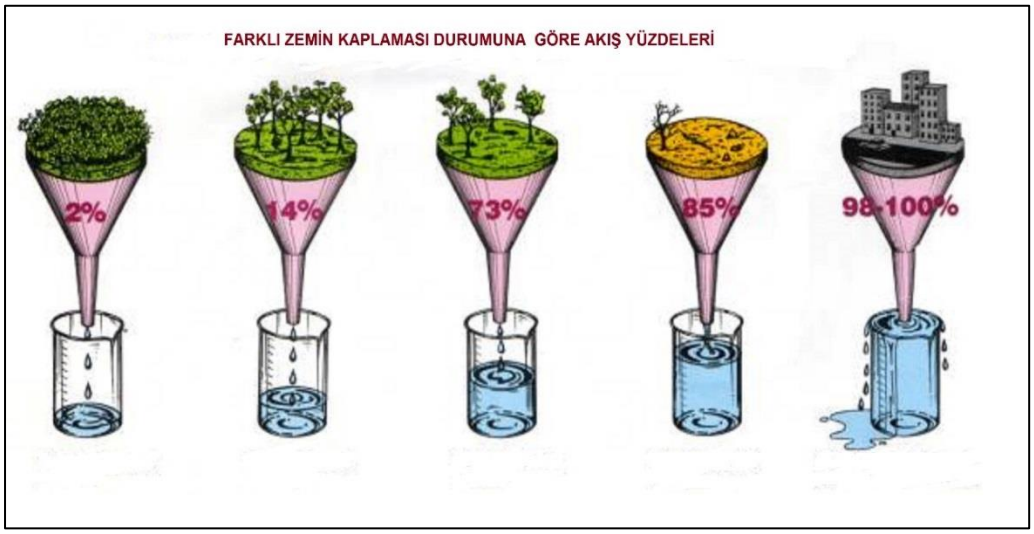
kurulurken farklı eğim durumlarının daha detaylı yansıtılabilmesi açısından beş sınıfa ayrılmıştır.

Çizelge 3.1. Arazi eğim değerleri

Eğim değeri (°)	Açıklama
0	Düz
22.5-45	Hafif eğimli
45-67.5	Orta eğimli
67.5-90	Dik
90	Çok dik

3.5.2.2.Arazi Kullanımı

Yağmur suyunun yüzeysel akışa geçen miktarı kırsal alanlarda çok az iken, geçirimsiz yüzeylerin artmasıyla şehir merkezlerinde akışa geçen miktar çok daha fazladır (Şekil 3.5). Bu durum beraberinde ciddi sorunlar meydana getirmektedir. Yüzeysel akışa geçen yağmur sularının artması, kentsel alanlarda sel ve taşkın risklerinin artmasına neden olmaktadır. Yağmur suyu drenaj sistemlerinde arazinin kullanımı akışın doğru bir şekilde hesaplanması açısından oldukça önemlidir. Bu çalışmada modelde kullanılmak üzere arazi kullanımı değerleri 1 (Çok geçirimli Zemin) -5 (Geçirimsiz Zemin) arasında seçilmiştir.



Şekil 3.5. Arazi kullanımına bağlı olarak zeminlerin akış yüzdeleri (beckleysanitaryboard, 2018)

3.5.3. Zemine Bağlı Faktörler

3.5.3.1.Sızma Kapasitesi

Yağışın yüzeysel akışa geçen kısmının belirlenmesinde ve taşkın debilerinin hesaplanmasında sızma oldukça önemlidir. Yeryüzüne düşen yağışın bir kısmı yerçekimi, kapiler ve moleküler gerilmeler etkisiyle zemin içine süzülür bu olaya sızma (infiltrasyon) denir. Sızan su önce zemin nemini arttırır ve yüzey altı akışını oluşturur. Geriye kalan (yüzey altı akışına katılmayan) su ise perkolasyon süreci ile derinlere katılarak yeraltı suyunu besler. Sızma yüzeysel akış açısından bakıldığında kayıp, yeraltı suyu açısından bakıldığında ise beslenmedir. Zemin özelliklerine bağlı olarak sızma kapasitesi değişir. Yüzeysel akış açısından incelediğimiz için yağmur suyu drenajında sızma miktarının artması akışı azaltır. Bazı zemin türlerine göre sızma kapasiteleri Çizelge 3.2'de verilmiştir. Model kurulurken işlemlerin daha kolay yapılabilmesi için sızdırma yerine sızdırmazlık durumu esas alınmıştır. Bu durumda maksimum sızdırmazlık (%100) kil, silt zeminlerde olurken minimum sızdırmazlığın (%0) iri çakıl zeminlerde meydana geldiği kabul edilmiştir.

Çizelge 3.2. Çeşitli zeminler için sızma kapasitesi değerleri (Yurtal, 2018)

Zemin Cinsi	Sızma Kapasitesi (mm/saat)	İnfiltrasyon Sınıfı
Kil, silt	<1	Çok az
Killi silt	1-5	Az
Kumlu silt	5-20	Az-orta arası
İnce kum	20-63	Orta
Orta-iri kum	63-127	Orta-yüksek arası
İri kum- ince çakıl	127-254	Yüksek
İri çakıl	>254	Çok yüksek

3.5.3.2.Doygunluk Derecesi

Zemindeki su hacminin toplam boşluk hacmine oranına doygunluk derecesi denir ve Denklem 3.5'te ifade edilmektedir. Zeminlerde doygunluk derecesi arttıkça sızma miktarı azalır ve böylece akış maksimum düzeyde olur. Modelde doygunluk derecesi %0 (minimum)-%100 (maksimum) arasında sınır koşulları ile temsil edilmiştir.

$$S_{r=}\frac{V_w}{V_V}\times 100 \qquad (3.5)$$

$S_{r_}$Doygunluk derecesi

$V_{W=}$Su hacmi

$V_{V=}$Boşluk hacmi

Bu tez çalışması kapsamında yukarıda açıklanan faktörlere bağlı olarak fizik yasaları kullanılıp matematik tabanlı 3 model kurularak yağmur suyu drenaj sistemlerinde akış katsayısının hassas bir şekilde hesaplanması amaçlanmıştır.

3.6. Yağmur Suyu Drenaj Sistemlerinde Kullanılan Modeller

Yağmur suyu drenaj sistemi modellerinde kullanılan deterministik modeller hidrolojik veya hidrolik modeller olarak sınıflandırılır. Deterministik modeller maddenin korunumu (süreklilik), enerjinin korunumu ve momentumun korunumu olarak bilinen korunum kanunlarını esas almaktadırlar. Deterministik modeller sistemin gelecek durumlarının belirlenmesinde hiçbir rastgelelik olmayan sistemlerdir. Stokastik modeller ise tam tersi rastgelelik barındıran sistemlerdir. Bu rastgelelik sistem parametrelerinde, dinamiğinde, girişlerinde olabilir. Hidrolojik modeller sadece süreklilik denkleminin çözümünü içerirler. Hidrolik modeller ise süreklilik denkleminin yanında momentum veya enerji denklemlerinden birini daha çözümde kullanırlar. Hidroloji ve hidrolik arasındaki fark modellenen yöntem ile belirlenir. Örneğin yağış-akış hidrolojik bir süreç olarak tanımlanırken, borulardaki akımlar hidrolik bir problem olarak kabul edilmiştir (Zoppou, 2001). Yağış akış süreci doğrusal olmayan, zamanla değişen, mekânsal olarak dağılmış ve basit modellerle kolayca tanımlanamayan bir süreçtir. Doğa olaylarında her zaman var olan belirsizlikler bu olayların belirgin yöntemlerle modellenmesini zorlaştırmaktadır. Bu yüzden araştırmacılar problemin "yaklaşık olarak" modellenmesine imkân tanıyan yöntemlerin arayışı içinde olmuşturlar. Toprak, problemin çözümü için iki yoldan söz etmiştir; eldeki problemin idealleştirilmesi ve çok sayıda değişken ile çalışılması. Problemin idealleştirilmesi için birçok kabul ve/veya ihmal yapılırken çok sayıda değişken ile çalışılması ise çok sayıda bilinmeyen, çözümü çok zor hatta olanaksız denklem veya modelleri zorunlu kılmaktadır (Toprak, 2004). Bu durumlar göz önünde bulundurularak yağmur suyu

drenaj sistemlerinde yağış akış ilişkisi için belirsizlik durumlarını içeren Bulanık Mantık yöntemi model kurmak için kullanılmıştır.

3.7. Bulanık Mantık (Fuzzy Logic) Yöntemi

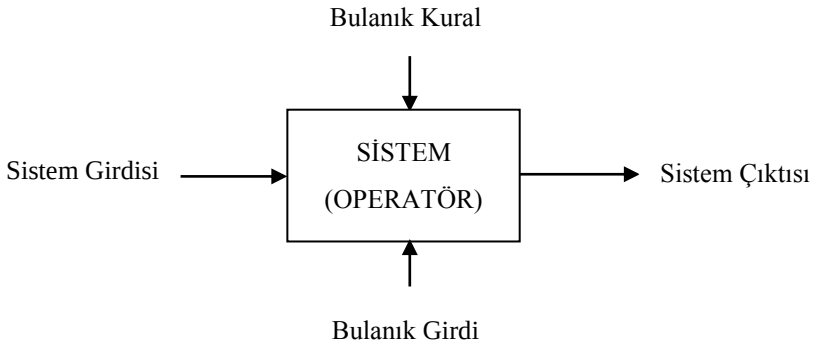
Bulanık Mantık ilk olarak 1965'de Azeri kökenli sistem bilimci Zadeh tarafından önerilen bulanık küme teorisi ile ortaya çıkmıştır (Zadeh, 1965). Bu yöntem ile modern anlamda belirsizlik kavramı açıklığa kavuşmuştur. İnsanlar günlük yaşantılarında karşılaştıkları problemleri tanımlama ve çözme ihtiyacı duyarlar. Bu problemler kimi zaman basitçe tanımlanıp çözülebilirken kimi zamanda karmaşık ve basitçe tanımlanmaktan uzaktırlar. BM (Bulanık Mantık) teorisi problemi keskin sınırlarla ayırmak yerine kümeleme veya sınıflandırma şeklinde değerlendirmektedir. Bu yöntem kesin sınırlarla ayrılmış kümelerin genişletilmesi olarak da düşünülebilir. BM yapay zekâ tekniklerinin bir parçası olarak ortaya çıkmış ve geliştirilmiş bir disiplindir (Sen, 2009). Bulanık kavramlar, doğada meydana gelen bulanık olaylardan ortaya çıkmaktadır. İnsanlar doğadaki olayları ifade etmek, tanımlamak, sınıflandırmak ve değerlendirmek için kullandıkları bulanık kavramları kullanmaktadır. Bu kavramların kesin sınırları belirsiz olduğundan kişiden kişiye ya da bölgeden bölgeye değişebilir. Bulanık mantık karar verme mekanizması olarak ta tanımlanabilecek sözel ifadelerin bir uzman kişi tarafından belirtilen kesin olmayan sınırlar içinde davranışını matematiksel olarak modellemeye yarar (Dağdelen, 1996).

Modelleme kesin olmayan bulanık kümelerden oluştuğu için *Bulanık* ya da *Fuzzy* olarak ifade edilir. Uzman kişinin kesin sonuçlarla ifade edemediği ancak bölgesel olarak yaklaşık sınırların belli olduğu durumlarda anlamlı sonuç vermektedir. Bulanık mantık, hesaplama tekniği bu tür sorunları büyük ölçüde çözebilmektedir. Bu nedenle bilinen geleneksel hesaplama yöntemlerine alternatif olarak ortaya çıkan bu yöntem, doğadaki işleyişi taklit ederek çözüme ulaşır. Bulanık mantık kuramının uygulamaları, günümüzün karmaşık problemlerinin çözümünde kullanışlı bir araç haline gelmiştir. İlk ortaya atıldığı tarihten bu yana konu, matematikçiler, bilim adamları ve mühendisler tarafından birbirinden bağımsız pek çok çalışmaya konu olmuştur (Yılmaz, 2006). Bulanık model sistematiğini anlamak için akış örneği verilecek olursa bir bölgede ki akış tahmininde öncelikle insan tecrübelerine dayanan olaylar sözel olarak ifade edilir. Bu ifadeler 'yağış fazla ise akış fazladır 'ya da 'eğim az ise akış azdır'

şeklinde olabilir. Sözel olarak ifade edilen bu durumlar mantıksal kurallar olarak yazılarak ifade edilen her parametrenin akış olayına etkisi oranınca üyelik derecesi ile belirtilir. Bulanık mantıktan alınan sonuçlar tanımlanan kuralların ve üyelik derecelerinin doğruluğuna bağlı olarak değişir.

3.8. Model İşlem Adımları

Girdi bölümü modelin bağımlı ve bağımsız değişkenleri ve bunlar ile ilgili tüm bilgileri kapsamaktadır. BM işlem süreci eldeki veri kümesinin bulanıklaştırılması, kara kutu çalışma özelliğine sahip bulanık sonuç çıkarma işlemi, sonuçların durulaştırılması ve çıktı aşamalarından oluşmaktadır. BM çıkarım sisteminin genel yapısı Şekil 3.6'da verilmektedir.



Şekil 3.6. Bulanık Mantık çıkarım sistemi genel yapısı

3.8.1. Bulanıklaştırma

Bulanıklaştırma normalde klasik küme şeklindeki değişim aralıklarının bulanık sistem mekanizmasında değerlendirilmesi için, bulanık kümelere dönüştürülmesi işlemidir. Bunun için bir aralıkta bulunabilecek elemanların tümünün 0 ile 1 arasında değişik değerlere sahip olduğu düşünülür. Bu durumda bazı öğelerin belirsizlik içerdiği kabul edilir. Bu belirsizliğin sayısal olmayan durumlardan kaynaklanması halinde bulanıklıktan söz edilir. (Şen, 1999).

3.8.2. Bulanık Sonuç Çıkarma

Kural tabanı olarak giriş parametrelerindeki değişkenlere bağlı olarak bu aşamada BM ile modelleme yaparken Eğer-İse gibi mantıksal sınamalar yazılır. Bu kurallar giriş ve çıkış birimleri arasındaki bağlantıyı ve/veya bağlaçları sağlar. Kurallar giriş ve çıkış değişkenlerinin sözel olarak ifade edilmesi ile yazılır. Girdiler ve

oluşturulan bu kurallar kullanılarak bulanık sonuçlar elde edilir. Genel anlamda Bulanık kurallar "*giriş* terimler" ve "*çıkış terimler*" şeklinde olup aşağıdaki bağıntı ile ifade edilirler.

Eğer (giriş terimleri) *ve / veya İse* (çıkış terimleri)

BM kurallarına aşağıdaki örnek verilebilir.

Yağışın şiddetli bir şekilde yağdığı varsayılarak "Eğer sıcaklık düşük ve rüzgâr düşük ise akış yüksek olur". Cümlede eğer-ise mantıksal kuralı oluşturulurken giriş öncülleri olan "sıcaklığın düşük olması" ve "rüzgârın düşük olması" öncülleri "ve" bağlacı ile, kuralın çıkış birimi olan "akışın yüksek olması" ve bağlacı ile bağlanmış olarak bir kural sistemi kurulmuştur.

3.8.3. Bulanık Çıkarım

Bu çalışmada bulanık çıkarım yöntemlerinden ''Mamdani'' yöntemi kullanılarak tahmin modeli kurulmuştur. Bu çıkarım sistemi en çok kullanılan ve uygulanan bulanık mantık sistemlerinden biridir. Mamdani'nin 1975 yılında önerdiği bir yöntemdir (Mamdani ve Assilian, 1975) ve bulanık mantığın geleneksel yöntemi olarak kabul edilebilir. Yöntem, Zadeh (1965)'in önerdiği bulanık mantık ilkeleri temel alınarak önerilmiştir. Yöntem dilsel yani linguistik ifadelere yer vermektedir. Bu durum farklı mühendislik alanlarında da yöntemin kullanılmasını sağlamıştır. (Grima, 2000). Mamdani tipi BM işlem adımları sırasıyla eldeki girdi değişkenlerinin bulanıklaştırılması, kural ağırlıklarını belirlenmesi, BM mantıksal (ve, veya) araçlarının uygulanması, elde edilen tüm bulanık kümelerin birleştirilmesiyle sonuçların toplanması ve durulaştırma işlemlerinden oluşmaktadır (Yılmaz, 2015).

3.8.4. Durulaştırma

Özellikle mühendislik plan ve projelendirmelerinde bulanık sonuçların doğrudan kullanılması doğru sonuçlar elde etmek açısından mümkün değildir. Bu nedenle bulanık işlem mekanizmasıyla elde edilen bulanık sonuçların kesin sonuçlar haline dönüştürülmesi için sayısal olarak ifade edilmesini sağlayan işlemlerin tümüne durulaştırma adı verilir. Durulaştırma sayısal giriş verilerinin bulanıklaştırma işleminin tersi bir işlemdir. Literatürde birbirinden farklı çok sayıda durulaştırma yöntemi olmakla beraber bu çalışmada ağırlık merkezi yöntemi (centroid method) kullanılmıştır.

Bu yöntem çıktının ağırlık merkezinin bulunması ve buna karşılık gelen değerin alınmasıdır (Şen, 1999).

3.8.5. Çıktı

Bulanık mantığın son aşaması olan bu bölümde bilgi ve bulanık kural tabanlarının bulanık çıkarım aracılığıyla etkileşimi sonucu edilen bağımlı değişken belirlenmektedir (Uygunoğlu ve Yurtcu, 2006). Model çalışması için ilk önce MATLAB'R2013a programında Fuzzy Logic araç olarak seçilmiştir. Bağımsız değişkenler bağımlı değişken ile bunlara ait bulanık kümeler SMRGT yöntemi kullanılarak belirlenip kurallar oluşturularak çıkış verileri elde edilmiştir.

Bu çalışmada üç farlı akış katsayısı (%) elde etmek üzere meteorolojik özelliklere (a_1), arazi (a_2) ve zemin özelliklerine (a_3) bağlı olarak model kurulmuştur. Tek bir model kurulmamasının nedeni akış katsayısı üzerinde meteorolojik etkilerin, zemin etkilerinin ve arazi koşullarının ayrı ayrı değerlendirilerek daha hassas bir akış katsayısının tespit edilmesidir. Ayrıca işlem hacmi açısından kolaylık sağlamakta ve bu etkilerin çalışılan bölge koşulları göz önünde bulundurularak modeller daha kolay kurulabilmektedir.

3.9. Bulanık Mantığın Hidrolojideki Yeri ve Önemi

Doğadaki hidrolojik olaylar karmaşıktır ve belirsizlik içerirler. Gerçek bir hidrolojik olayın tam olarak tanımlanabilmesi için genellikle ayrıntılı veriler gerekli olmasına rağmen insan algısı ve mantığı ilgili olayın mekanizmasını oluşturmak için ayrıntılı düşünerek bu gereksinimi karşılamaktadır. Hidrolojik olaylar tam tanım için çok karmaşıktırlar bu yüzden mantıklı ve çözümlenebilir modeller elde etmek için yaklaşık mantık (bulanık) tanımlanmalıdır (Şen, 2002). Hidroloji alanında insan bilgisini sistematik bir şekilde kavrayabilen ve formüle edebilen bir modele bağlı olmak çok gereklidir ve saha ölçümleri ve dil bilgisi gibi diğer bilgi kaynakları ile bütünleştirilebilir. Birçok hidrolojik süreç lineer olmayan davranışlara sahiptir fakat matematiksel sınırlamalar ve gereklilikler nedeniyle geçmişte lineer sisteme çevrilmek için büyük çabalar gösterilmiştir. Genel olarak iyi bir modelin hidrolojik olayın temel özelliklerini tanımladığı ve aynı zamanda matematiksel analiz için işlenebilir olduğu ölçüde kesin olması beklenir. Bulanık modellemenin alanı matematiksel esas ve formüllerden tamamen bağımsızdır ki hepsinin kökleri mantıksal kurallara dayanır.

Bulanık sistemler ve modeller dilsel ve sayısal bilgi ile kavranabilir oysa matematiksel modeller sadece sayısal bilgiye dayanır. Hidrolojik sistemlerde değerli bilgilerin iki kaynağı vardır: Uzman görüşleri ve çeşitli aletlerden alınan ölçümlerdir. Klasik tekniklerde dil bilgisinin rolünün bir değeri yoktur. Fakat bulanık mantık yaklaşımı bu bilgiyi bulanık kümeler aracılığıyla modelin içyapısına yerleştirmektedir. Burada esas soru uzman bir hidrolojistin bilgisinin ilk olarak bir mantıksal kural tabanına ve ardından matematiksel bir sistem ya da formüle nasıl dönüştürdüğüdür (Sen, 2009).

3.10. Bulanık SMRGT Yöntemi

Bu çalışmada yağmur suyu drenaj sistemlerinde akış katsayısının daha hassas bir şekilde belirlenmesi amacıyla bir bulanık model geliştirilmiştir. Modellemede bulanık kümeler ve bulanık kural tabanı ilk kez Toprak (2009) tarafından önerilen SMRGT yöntemi ile belirlenmiştir. Model geliştirildikten sonra MATLAB R2013a (8.1.0.604, LN:874166) programı bünyesine alınmıştır. MATLAB yazılımı bünyesinde küçük bir alt program ile çalıştırılabilmektedir. Hem üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde hem de bulanık kuralların atanmasında kullanılan SMRGT ağırlık merkezi (centroid method) durulaştırma yöntemini esas almaktadır. SMRGT yeni olmakla beraber pek çok çalışmada kullanılmıştır (Altaş, 2017; Çakır Aydın 2017; Altaş ve ark. 2018; Toprak, 2016). Bu yöntemin en büyük avantajı modelin hem bulanık kural (FRs) tabanını hem de üyelik fonksiyonlarını (MFs) birlikte ve çok basit bir teknik ile belirliyor olmasıdır (Toprak, 2009). Diğer taraftan elde tamamıyla uzman görüşünü esas aldığı için herhangi bir veri olmaksızın modelin kurulmasını sağlamasıdır. Akış katsayısının belirlenmesi için üç farklı model aşağıda belirtilen şekilde SMRGT yöntemi ile kurulmuştur.

Yönteme göre;

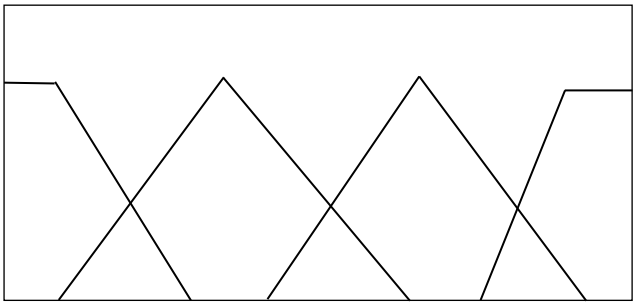
1. Öncelikle eldeki olayı etkileyen bağımlı ve bağımsız değişkenlere karar verilir. Bağımsız değişkenler (girdi) bağımlı değişkenler (çıktı)'dır.

GİRDİ (BAĞIMSIZ DEĞİŞKEN)	**ÇIKTI (BAĞIMLI DEĞİŞKEN)**
X	**Z**
Y	

2. Bu değişkenler sınırlı bir aralıkta dağılmalı yani maksimum ve minimum değerleri bilinmelidir. X_{min}, X_{mak} değerleri uzman görüşüne göre seçilirken eldeki probleme bağlı olarak bu aralıklar istenildiği kadar geniş tutulabilir. X_R değişim aralığı bağıntı 3.6 da verildiği gibi hesaplanmaktadır.

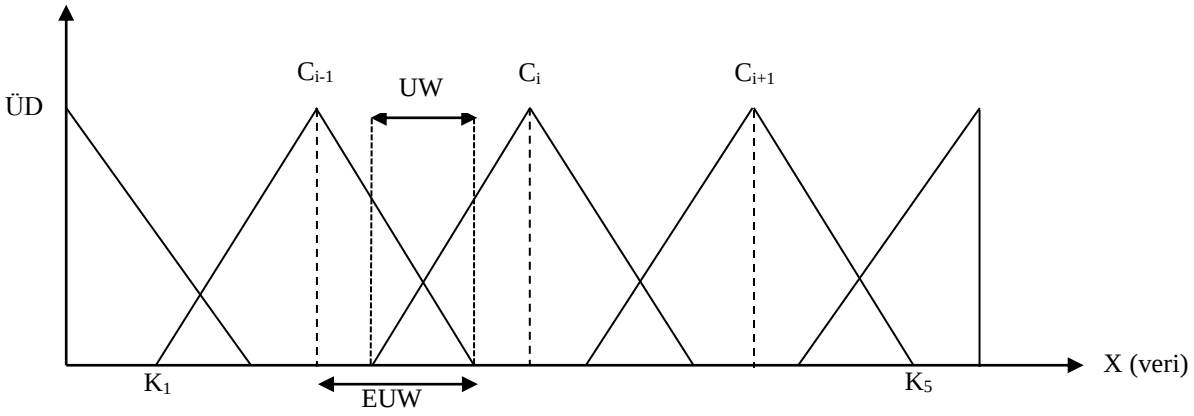
$$X_R = (X_{mak}) - (X_{min}) \qquad (3.6)$$

3. Üyelik fonksiyonunun şekline karar verilir. Yöntem trapez ve üçgen şeklindeki üyelik fonksiyonları üzerinde daha iyi sonuçlar verdiği için bu fonksiyonların seçilmesi tercih edilmiştir. Üyelik fonksiyonları tanımlanırken ilk ve son üyelik fonksiyonlarının dik üçgen veya dik trapez seçilmesi ve ortadaki üyelik fonksiyonlarının ise ikizkenar üçgen veya trapez seçilmesi yararlı olacaktır.



Şekil 3.7. Dik üçgen ve trapez üyelik fonksiyonları gösterimi

Çalışmada daha basit olduğu ve kolaylık sağladığı için bulanık kümeler üçgen şeklinde seçilmiştir. Her bir değişken için anahtar değerleri (K_1, K_2, ...K_n) ile üyelik fonksiyonlarının çekirdek değeri (C_i), birim genişliği (UW), her üyelik fonksiyonu için simetrik olarak genişletilmiş taban genişlikleri (EUW) ve kesişen iki komşu üyelik fonksiyonun değeri (O) belirlenir. Ayrıca üçgen bulanık kümelerdeki dik üçgen sayısı (n_u) bilinmelidir (Şekil 3.8). Aşağıda verilen formüller kullanılarak her üç model için hem bağımlı hem de bağımsız değişkenlere ait çekirdek değerleri, birim genişliği ve anahtar değerleri bulunmuştur.



Şekil 3.8. Model için çekirdek değer, anahtar değer ve birim genişliğin gösterimı

$$C_{i-1} = K_i = \frac{C_i - X_{min}}{2} + X_{min} \qquad (3.7)$$

$$C_i = \frac{X_R}{2} + X_{min} \qquad (3.8)$$

$$C_{i+1} = X_{mak} - \left(\frac{X_{mak} - K_i}{2}\right) \qquad (3.9)$$

$$UW = \frac{X_R}{n_u} \qquad (3.10)$$

$$O = \frac{UW}{2} \qquad (3.11)$$

$$EUW = \frac{X_R}{n_u} + O \qquad (3.12)$$

$$K_1 = X_{min} + \frac{EUW}{3} \qquad (3.13)$$

$$K_5 = X_{max} - \frac{EUW}{3} \qquad (3.14)$$

4. Her bağımsız değişkene ait en az üç üyelik fonksiyonu belirtilmiştir. Üyelik fonksiyonu sayısının fazla olması model hatasını azaltırken işlem hacmini arttıran bir durumdur.
5. Üyelik fonksiyonlarının birbirinin dik üçgen parçalarının ağırlık merkezine (1/3 ve 2/3) üne kadar yayılması hata yüzdesini düşürür.
6. Her bir bağımsız değişkenin ilk ve son üyelik fonksiyonunun ağırlık merkezine denk gelen değer aralığı için bulanık sistem geçerlidir. Bu nedenle bağımsız

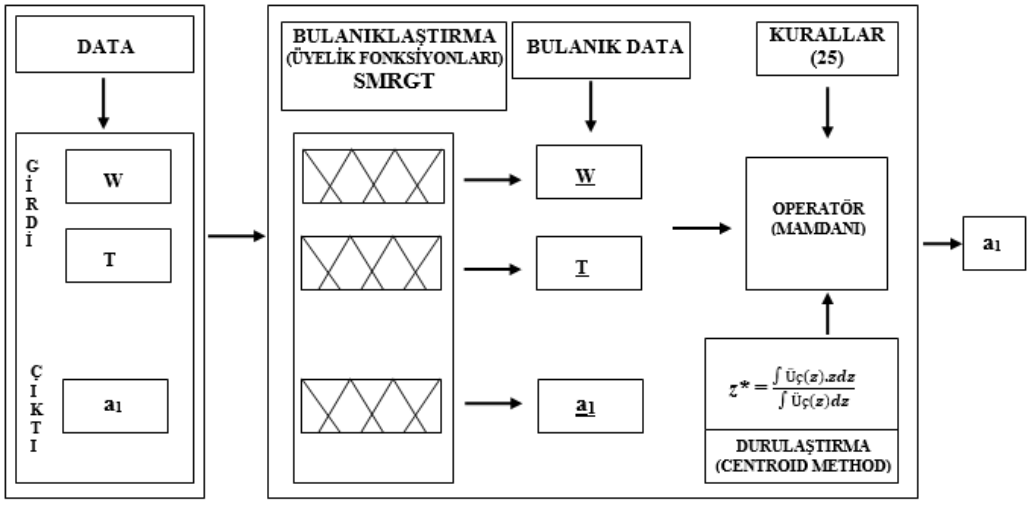
değişkenlerin değer aralıklarının biraz geniş tutulmasında yarar vardır. Bu durum özellikle ağırlık merkezi (centroid method) durulaştırma kullanıldığında hata yüzdesini düşürmektedir. Ağırlık merkezi durulaştırma yöntemi seçildiğinde belli şartların dışında en yüksek ve en düşük değerleri vermemektedir.

7. Üç üyelik fonksiyonu olan bir değişken için her biri ile ilgili üyelik fonksiyonlarının ağırlık merkezine denk gelen üç tane eleman aynı zamanda bulanık modelin girdileri (input) elde edilir. Bunların önceden belirlenmesi deneme yanılma ile varılacak sonuca büyük ölçüde peşinen varılmasını sağlayacaktır.
8. Yapılan bu işlemlerden sonra her bir bağımsız değişkenin seçilmiş bu değerlerine karşı bağımlı değişken yani çıktının alacağı değerler belirlenmiş olur. Girdilerin belirlenen değerlere karşılık gelen çıktı değerleri deneysel olarak veya uzman görüşü ile (gerekirse hesap yoluyla) elde edilir. Bu şekilde tüm kurallar elde edilmiş olacaktır. Elde edilen kural sayısı aynı zamanda çıktının üyelik fonksiyonu sayısını verir. Girdi üyelik fonksiyonlarında olduğu gibi bu değerler çıktının her bir üyelik fonksiyonunun ağırlık merkezine denk gelen elemanlar olacaktır.
9. Bu şekilde üyelik fonksiyonları ve kurallar belirlendikten sonra sıra MATLAB paket programında bulanık sistemin kurulmasındadır.
10. İlgili programda girdi ve çıktı dosyaları hazırlandıktan sonra eş zamanlı olacak şekilde test aşaması verileri kullanılarak girdi ve çıktı dosyaları hazırlanır. Bu şekilde kalibrasyon ve test aşamalarının her biri için biri girdi biri çıktı olmak üzere ikişer tane veri dosyası hazırlanmış olur.
11. Devamında yukarıda belirtilen maddelerle bulanık sistem kurulur.
12. Sonuçların değerlendirilmesi ve programın daha kolay çalışması için basit bir alt program hazırlanır.
13. Bu yöntemle hazırlanan programın çoğu kez deneme yanılma sürecine ihtiyacı olmayacaktır. Olsa dahi süreç kısa ve işlem hacmi az olacaktır. Eğer çıktı üyelik fonksiyonları gereğinden fazla iç içe geçmiş ise çıktının iç içe geçmiş iki veya daha fazla üyelik fonksiyonlarının teke indirilerek azaltılması gerekir (Toprak, 2009; Toprak, 2017).

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Model 1 Uygulaması

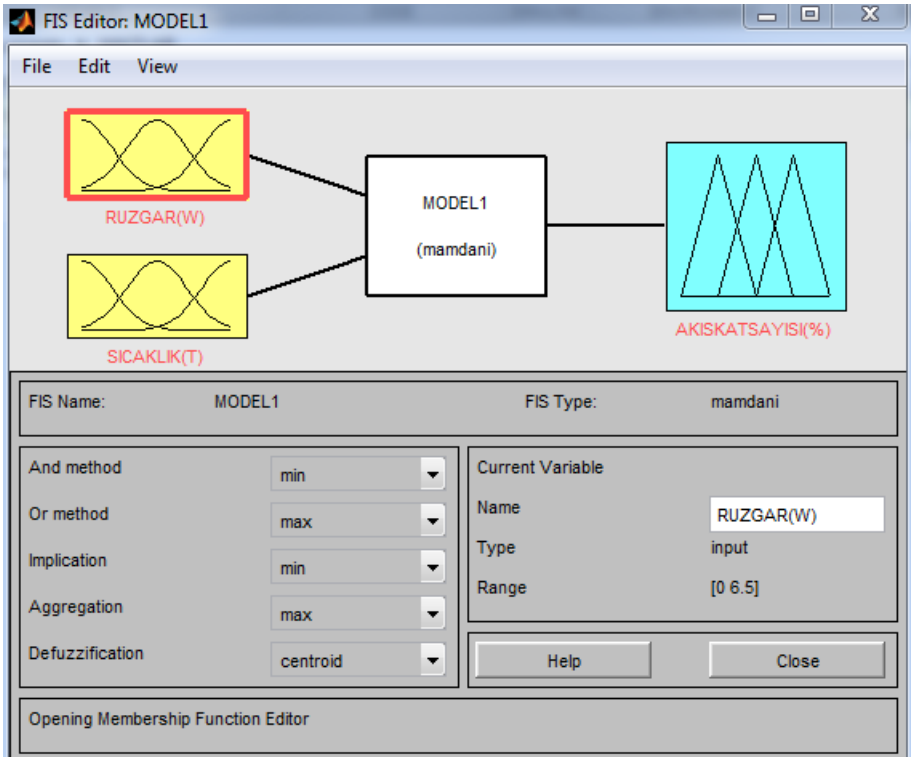
Bu çalışmada kurulan modelin tasarlanması için genel akış şeması Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Model kurulmaya başlarken ilk önce giriş işlemleri yapılmıştır. Bu giriş işlemlerinde bağımsız (girdi) ve bağımlı (çıktı) değişkenleri belirlenmiştir. Üyelik fonksiyonları ile girdi ve çıktılara bulanıklaştırma işlemi yapılmıştır. Ardından kurallar oluşturulmuş (25 adet), durulaştırma işlemi olarak ağırlık merkezi yöntemi (centroid method) ve bulanık çıkarım için Mamdani yöntemi seçilmiştir. Üyelik fonksiyonları ve bulanık kural tabanı SMRGT yöntemi ile belirlenmiştir. Bu işlemler tamamlanıp çıktı elde edilince model tamamlanmıştır. Bu model sonucuna göre meteorolojik olarak akış katsayısı yüzde cinsinden (a_1) değerleri elde edilmiştir. İlk olarak Toprak (2009) tarafından kullanılan akış şeması bu çalışmaya özgü uyarlanarak bu çalışmada tüm modeller için kullanılmıştır. Uyarlanan akış şeması Model 1 için Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Model 1 akış şeması (Toprak, 2009)

4.1.1. Bulanıklaştırma ve Üyelik Derecelerinin Atanması

Bulanık modelde bağımsız değişkenler girdi (input) verilerini oluştururken Model 1'de rüzgâr (W) ve sıcaklık (T) kullanılmıştır. İki değişken de meteorolojik özellikler olup buharlaşmayı etkilediğinden akış katsayısı üzerinde önemli bir etkiye sahiptirler. Şekil 4.2'de görüldüğü üzere Model 1 kurulmuştur.



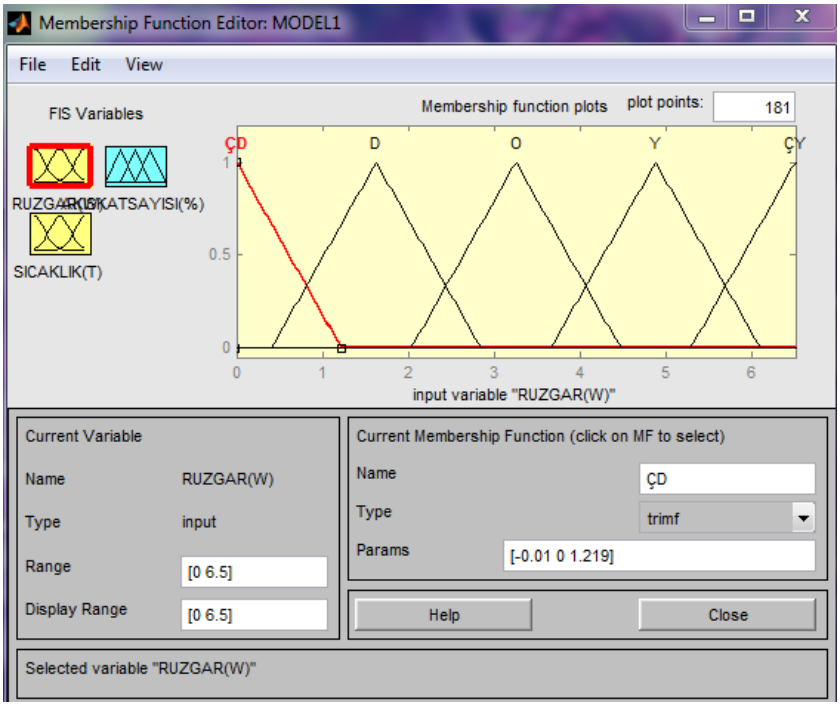
Şekil 4.2. Model 1 girdileri

Modelde sıcaklık ve rüzgâr girdilerinin her biri için çok düşük (ÇD), düşük (D), orta (O), yüksek (Y) ve çok yüksek (ÇY) şeklinde sözel ifadeler ile adlandırılan beşer adet bulanık kümeden oluşan üyelik fonksiyonu ile bulanıklaştırılmıştır. ÇD, D, O, Y, ÇY olmak üzere hem rüzgâr hem de sıcaklık değişkenleri beş kümeye ayrılmıştır. Sıcaklık ve rüzgâr değişkenlerine ait SMRGT ile belirlenen anahtar değerler modelin girdisi olarak kullanılmıştır (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. Model 1 değişkenleri için kullanılan çekirdek değerler

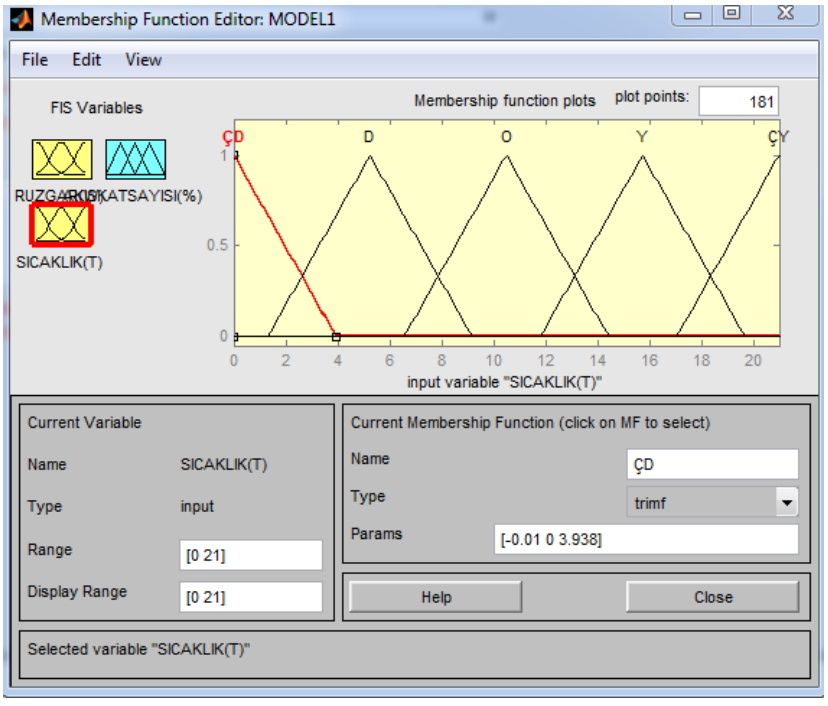
	X_R	C_{i-1}	C_i	C_{i+1}	UW	EUW	O	K_1	K_5
W	6.5	1.62	3.25	4.87	0.13	0.20	0.06	0.06	5.29
T	21	5.25	10.5	15.75	0.43	0.65	0.21	0.21	19.80
a_1	100	45.72	50	54.28	2.08	3.12	1.04	1.04	98.95[1]
Kullanılan bağıntı	(3.6)	(3.7)	(3.8)	(3.9)	(3.10)	(3.12)	(3.11)	(3.13)	(3.14)

[1]Çizelge 4.1'de verilen a_1 (akış katsayısı) için son anahtar değer K_{25}'dir.



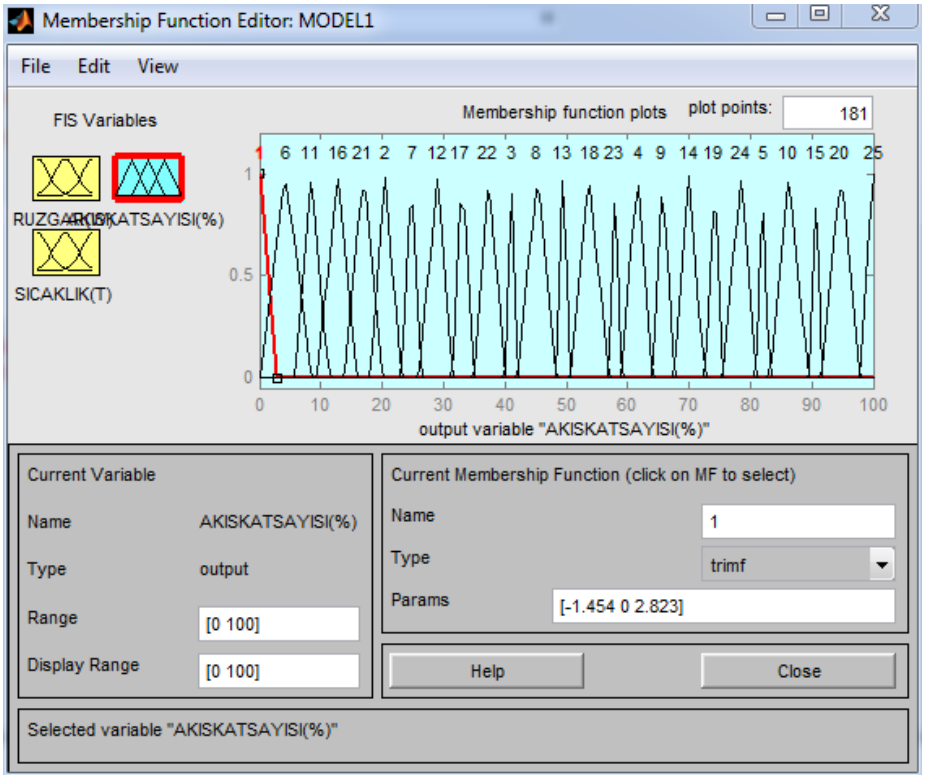
Şekil 4.3. Rüzgâr girdisine ait bulanık kümelerin görünümü

Rüzgâr (W) girdisine ait bulanık kümelerin görünümü Şekil 4.3 'te sıcaklık (T) girdisine ait bulanık küme görünümü ise Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.4. Sıcaklık girdisine ait bulanık kümelerin görünümü

Burada a_1 akış katsayısı (%) yani bağımlı değişken modelin çıktısı olarak tanımlanmıştır. Eldeki bağımsız değişkenlerin model çıktısı üzerindeki etkisi rüzgâr için %40 ve sıcaklık için %60 olarak alınmıştır. Bu oranlar uzman deneyim ve görüşlerine bağlı olarak seçilmiştir. Model çıktısının (akış katsayısının) üyelik fonksiyonunda bulanık küme sayısı SMRGT yöntemi gereği kural sayısına eşit ve 25 olarak belirlenmiştir. Değişkenin en büyük ve en küçük (maksimum ve minimum) değer aralığı ise sırasıyla, yağışın tamamının akışa geçmesi hali için yüzde cinsinde 100 ve yağışın hiç akışa geçmemesi hali için yüzde cinsinden 0 alınmıştır. Böylece yağışın akışa geçmesinin bütün olasılıkları dikkate alınmış ve modelin genelleştirilebilir olması sağlanmıştır. Bağımsız değişkenlerin sayısal verilerini elde etmek için kullanılan hesaplama yöntemi bağımlı değişkenin bulanık kümelerinin hesabı içinde kullanılmıştır. Üyelik fonksiyonlarının birim genişlikleri anahtar ve çekirdek değerleri 3.6- 3.14 arası bağıntılardaki denklemler kullanılarak hesaplanmış ve Şekil 4.5'te görüldüğü üzere model kurulmuştur.



Şekil 4.5. Akış katsayısı (%) çıktısına ait bulanık kümelerin görünümü

4.1.2. Kural Tabanının Oluşturulması

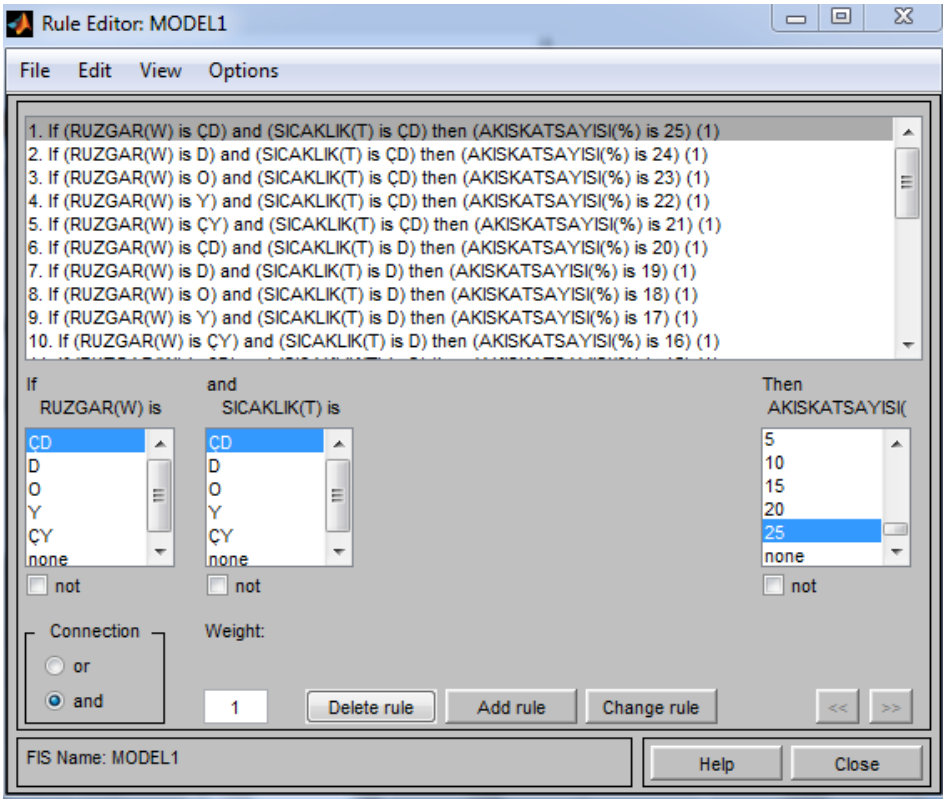
Bağımlı ve bağımsız değişkenler tanımlandıktan sonra kuralların oluşturulması gerekir. Çok iyi bilindiği üzere bulanık kural tabanı oluşturmaya yönelik literatürde deneyimler, bulanık istatistik ve sezgisel yaklaşımlar gibi pek çok yaklaşım mevcuttur. Burada SMRGT yöntemi tercih edilmiştir. Öncelikle yağmur suyu drenaj sistemlerinde akış katsayısının (%) belirlenmesi için modelin kural sayısı belirlenmelidir. Kural sayısını bağımsız değişkenlerin sayısı ve bu bağımsız değişkenlere ait bulanık küme sayısı belirler. Sıcaklık ve rüzgâr girdilerinin oluşturduğu bağımsız değişkenlerin çok düşük, düşük, orta, yüksek, çok yüksek değerlerinden oluşan bulanık kümelerinin birbiri ile kombinasyonu sonucu 25 farklı olasılık oluşmaktadır.

Bu olasılıkların her biri bir kurala karşılık gelecek şekilde kural tabanı 25 bulanık kuraldan meydana gelmiştir. Böylece hiçbir olası fiziksel durum göz ardı edilmemiştir. Bu kural tabanı oluşturma yöntemi özellikle SMRGT yöntemi için vazgeçilmezdir. SMRGT bulanık kural tabanı Çizelge 4.2'de verilmiştir. Birinci sütun rüzgâr girdisine ait maksimum ve minimum değerlere karşılık gelen sözel ifadeleri, ikinci sütun sıcaklık girdisine ait sayısal değerlere karşılık gelen sözel ifadeleri ve son sütunda bağımsız değişkenlerle oluşturulan değerlere karşılık gelen akış katsayısına ait bağımlı değişkenin aldığı değerleri ifade etmektedir (Çizelge 4.2).

Ayrıca Şekil 4.6'da bulanık kural tabanının MATLAB ara yüzü verilmiştir. Kurallar oluşturulurken her bir girdinin modeldeki ağırlığı 1 olarak alınmıştır.

Çizelge 4.2. Model 1 için SMRGT bulanık kural tablosu

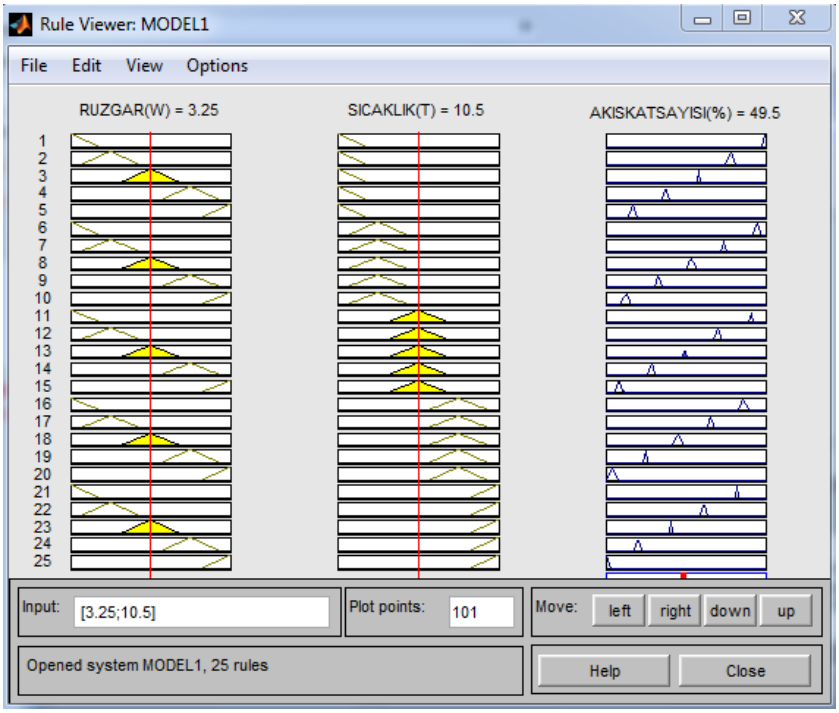
Girdi 1		**Girdi 2**		**Çıktı**	
Rüzgâr (m/sn)		**Sıcaklık (**°C)		**Akış Katsayısı (%)**	
Sayısal	**Sözel**	**Sayısal**	**Sözel**	**Sayısal**	**Sözel**
6.50	Çok Yüksek	21.00	Çok Yüksek	0.00	1
4.88	Yüksek	21.00	Çok Yüksek	4.28	2
3.25	Orta	21.00	Çok Yüksek	8.55	3
1.63	Düşük	21.00	Çok Yüksek	12.83	4
0.00	Çok Düşük	21.00	Çok Yüksek	17.11	5
6.50	Çok Yüksek	15.75	Yüksek	20.72	6
4.88	Yüksek	15.75	Yüksek	25.00	7
3.25	Orta	15.75	Yüksek	29.28	8
1.63	Düşük	15.75	Yüksek	33.55	9
0.00	Çok Düşük	15.75	Yüksek	37.83	10
6.50	Çok Yüksek	10.50	Orta	41.45	11
4.88	Yüksek	10.50	Orta	45.72	12
3.25	Orta	10.50	Orta	50.00	13
1.63	Düşük	10.50	Orta	54.28	14
0.00	Çok Düşük	10.50	Orta	58.55	15
6.50	Çok Yüksek	5.25	Düşük	62.17	16
4.88	Yüksek	5.25	Düşük	66.45	17
3.25	Orta	5.25	Düşük	70.72	18
1.63	Düşük	5.25	Düşük	75.00	19
0.00	Çok Düşük	5.25	Düşük	79.28	20
6.50	Çok Yüksek	0.00	Çok Düşük	82.89	21
4.88	Yüksek	0.00	Çok Düşük	87.17	22
3.25	Orta	0.00	Çok Düşük	91.45	23
1.63	Düşük	0.00	Çok Düşük	95.72	24
0.00	Çok Düşük	0.00	Çok Düşük	100.00	25



Şekil 4.6. Model 1 için üretilen kuralların MATLAB görünümü

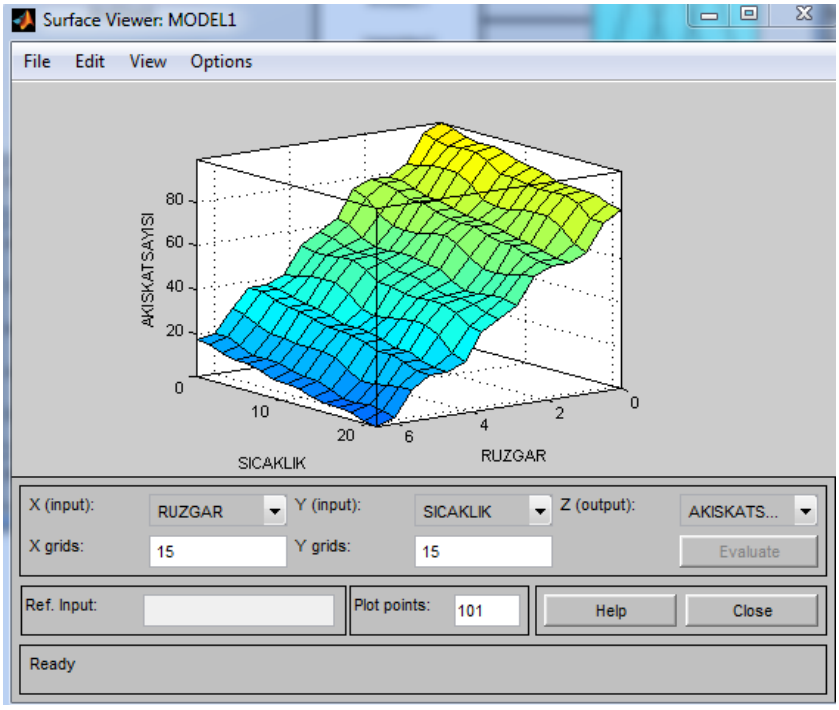
4.1.3. Model Sonuçları

Bağımlı ve bağımsız değişkenlerden oluşan sistem girdileri arasındaki bulanık ilişki bulanıklaştırma (bulanık kümeler ile), bulanık kural tabanı ve durulaştırma ile belirlenir ve sistem çıktısı elde edilir. Çizelge 4.2'de rüzgâr ve sıcaklık anahtar değerlerine karşılık modelin verdiği çıkış değerleri hem sayısal hem de bulanık kümeler şeklinde gösterilmektedir. Kurulan modele göre akış katsayısının rüzgâr ve sıcaklığa bağlı olarak değişimi Şekil 4.7'de verilmiştir. Rüzgâr 3.25 m/s ve sıcaklık 10.5° iken akış katsayısı %49.5 olmakta ve rüzgâr 6.5 m/s ve sıcaklık 21°C iken akış katsayısı %0.634'e karşılık gelmektedir. Buna göre akış katsayısının hem sıcaklık hem de rüzgâr değişkenleri arasında negatif bir istatistiksel ilişki mevcuttur. Başka bir ifade ile bağımsız değişkenlerden biri artarken bağımlı değişken azalmaktadır. Nitekim Pearson korelasyon katsayıları rüzgâr için -0.2, sıcaklık için ise -0.98 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.7. Kuralların MATLAB ile grafiksel görünümü

Modelde sıcaklık ve rüzgârın buharlaşma üzerindeki etkisi aynı alınmamıştır. Sıcaklığın görece rüzgârdan daha fazla etkili olduğu düşünülerek buharlaşma üzerindeki etkileri sırasıyla 0,6 ve 0,4 ağırlık katsayıları kullanılmıştır.



Şekil 4.8. Akış katsayısının rüzgâr ve sıcaklığa bağlı olarak değişimi

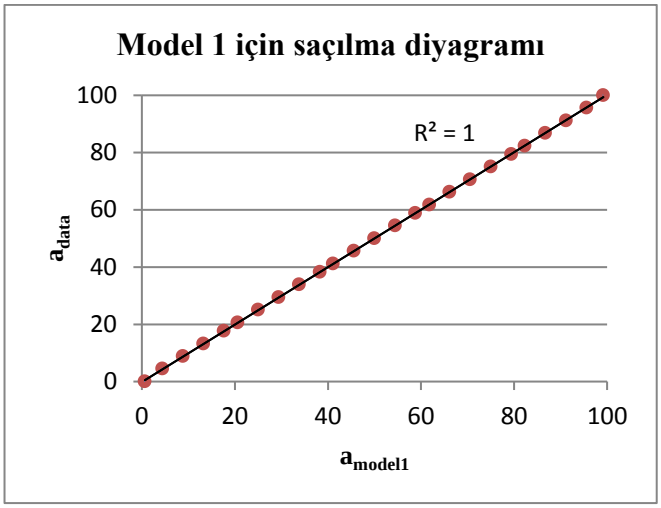
4.1.4. Model 1 Sonuçlarının Karşılaştırılması ve Tartışılması

Fis uzantılı model dosyalarını çalıştırmak için küçük bir alt kodlama hazırlanmıştır. Bu küçük program modele manuel olarak girdilerin verilmesi ve çıktının elde edilmesi yerine, elde bulunan veri dosyalarını otomatik olarak işlenmesini sağlamaktadır. Yine bu kodlama "fis" uzantılı tüm Matlab dosyalarını çalıştırmaktadır. Yukarıda sözü edilen küçük alt program çalıştırılarak model sonuçları elde edilmiş ve eldeki veriler ile karşılaştırılmıştır.

Modelin başarısını daha net görebilmek için çok sayıda karşılaştırma kriterinin kullanılması önerilmektedir (Toprak, 2004; Toprak ve Savcı, 2004; Toprak ve ark., 2004; Toprak ve Savcı, 2007; Toprak ve Cigizoglu, 2008). Bu nedenle model sonuçlarının veriler ile karşılaştırılmasında saçılma diyagramının dışında dört hata modu ve Pearson korelasyon katsayısı dahil 7 istatistik büyüklük kullanılmıştır. Modellerin sonuçlarının veriler ile karşılaştırılması için kullanılan istatistik büyüklükler, maksimum (X_{max}), minimum (X_{min}), ortalama (X_m), standart sapma (S_x), çarpıklık katsayısı (C_{sX}), değişim katsayısı (C_{vX}) ve korelasyon katsayısı (R); kullanılan hata modları (çeşitleri) ise ortalama karesel hata (OKH), ortalama karekök karesel hata (OKKH), ortalama mutlak hata (ortalama standart hata) (OMH), ortalama mutlak rölatif (bağıl) hata (OMRH) olarak sıralanabilir.

Karşılaştırmada Model 1 için yapılan iş ve işlemlerin tamamı diğer iki model için de tekrarlanmıştır.

Şekil 4.9 verilerin ve Model 1 sonuçlarının saçılma diyagramını göstermektedir. Saçılma diyagramından da kolayca anlaşıldığı üzere model sonuçları neredeyse tamamen eldeki veriler ile uyumludur. Kullanılan veri kümeleri Çizelge 4.3 'de gösterilmiştir. Bağımsız değişkenlerin (sıcaklık ve rüzgâr) bağımlı değişken (meteorolojik değişkenlere/koşullara bağlı akış katsayısı, a_1) üzerindeki etkisinin görülmesi için de Şekil 4.8'deki üç boyutlu grafik verilmiştir.



Şekil 4.9. Model ve data sonuçlarının karşılaştırılması

Çizelge 4.3. Model 1 kullanılan veri kümeleri ve sonuçları

Rüzgâr (m/s)	**Sıcaklık (ºC)**	**Akış K. (%)**	
W	**T**	a_{data}	a_{model1}
6.50	21.00	0.00	0.63
4.88	21.00	4.28	4.26
3.25	21.00	8.55	8.46
1.63	21.00	12.83	12.66
0.00	21.00	17.11	16.92
6.50	15.75	20.72	20.50
4.88	15.75	25.00	24.82
3.25	15.75	29.28	28.87
1.63	15.75	33.55	33.08
0.00	15.75	37.83	37.42
6.50	10.50	41.45	41.02
4.88	10.50	45.72	45.27
3.25	10.50	50.00	49.48
1.63	10.50	54.28	53.68
0.00	10.50	58.55	57.88
6.50	5.25	62.17	61.52
4.88	5.25	66.45	65.82
3.25	5.25	70.72	69.98
1.63	5.25	75.00	74.05
0.00	5.25	79.28	78.25
6.50	0.00	82.89	82.04
4.88	0.00	87.17	86.28
3.25	0.00	91.45	90.63
1.63	0.00	95.72	94.69
0.00	0.00	100.00	99.60

Karşılaştırma için kullanılan büyüklüklerin hesaplanan değerleri Model 1 için Çizelge 4.4'te verilmiştir. Aralarındaki istatistiksel ilişki Pearson korelasyon katsayısı ile ölçülmüş ve bu katsayı 0.999 olarak hesaplanmıştır. Oldukça yüksek (1'e yakın) olması modelin eldeki veriler ile uyum sağladığını göstermektedir. Model sonucu akış katsayısı, a_1'lerde 0 değerinin olmasından ötürü ortalama mutlak rölatif hata (OMRH) sonsuz çıkmış, 0 değeri kaldırılarak yapılan hesap sonucunda OMRH %5.008 olarak hesaplanmıştır. Değişkenler arasındaki korelasyon katsayıları matrisi Çizelge 4.5'te verilmiştir. Hataların düşük olması, Pearson korelasyon katsayısının pozitif değer olarak 1'e yakın (yüksek) olması ayrıca veri ve model sonuçlarına ait istatistik büyüklüklerin birbirine yakın olması modelin başarısının önemli göstergeleridir. Model 1 için Çizelge 4.4'te verilen farklı hatalar ve istatistik büyüklüklere bakıldığında hataların oldukça düşük, korelasyon katsayısının oldukça yüksek ve istatistik büyüklüklerin oldukça birbirine yakın olduğu görülmektedir. Bu yüzden Model 1'in başarılı olduğu, başka bir ifade ile gerçekçi sonuçlar verdiği söylenebilir.

Çizelge 4.4. Model 1 sonuçlarına ait istatistikler ve hatalar

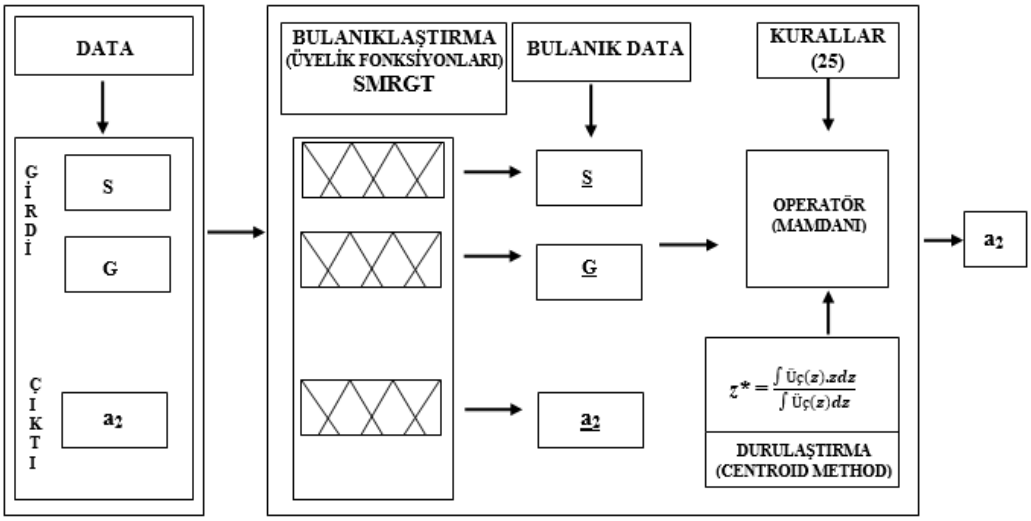
	İSTATİSTİK BÜYÜKLÜKLER							**HATALAR**			
	X_{max}	X_{min}	X_m	S_x	C_{sX}	C_{vX}	**r**	**OKH**	**OKKH**	**OMH**	**OMRH (%)**
Data	100.000	0.000	50.000	29.925	0.000	0.598	0.999	0.375	0.612	0.540	5.008
Model	99.600	0.630	49.510	29.610	0.010	0.598					

Çizelge 4.5. Model 1 değişkenleri için korelasyon katsayıları matrisi

	W	**T**	$\mathbf{a_{data}}$	$\mathbf{a_1}$
W	1	0.000	-0.202	-0.201
T		1	-0.979	-0.980
$\mathbf{a_{data}}$			1	0.999
$\mathbf{a_1}$				1

4.2. Model 2 Uygulaması

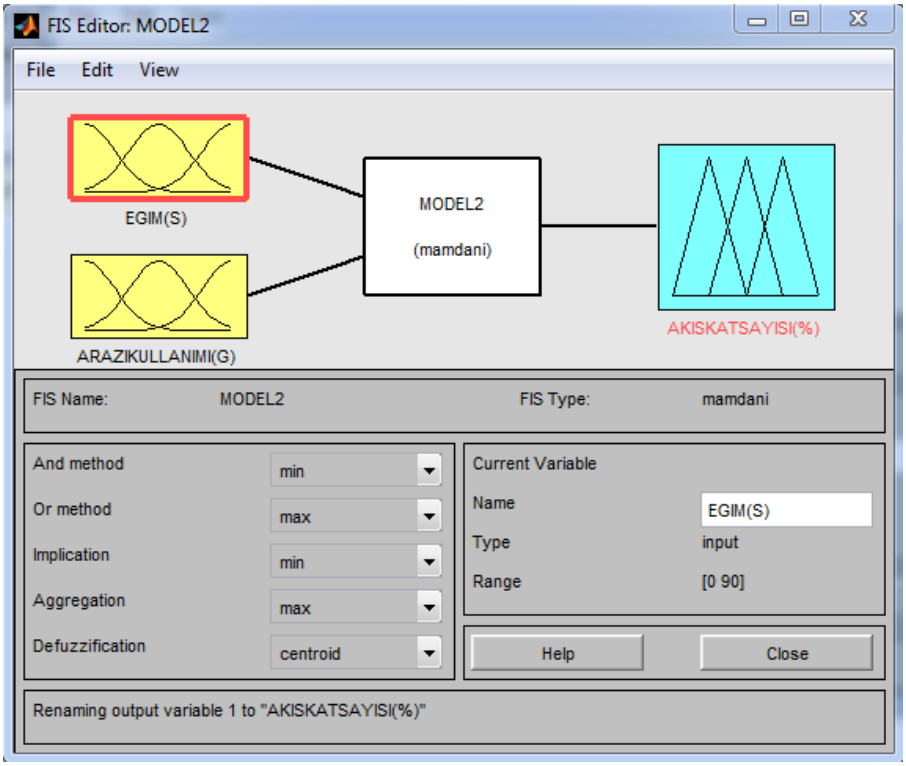
Bu çalışmada kurulan modelin tasarlanması için genel akış şeması Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Model kurulmaya başlarken ilk önce giriş işlemleri yapılmıştır. Bu giriş işlemleri için bağımsız (girdi) ve bağımlı (çıktı) değişkenleri belirlenmiştir. Üyelik fonksiyonları ile girdi ve çıktılara bulanıklaştırma işlemi yapılmıştır. Ardından kurallar oluşturulmuş (25 adet), durulaştırma işlemi olarak ağırlık merkezi yöntemi (centroid method) ve bulanık çıkarım için Mamdani yöntemi seçilmiştir. Bu işlemler tamamlanıp çıktı elde edilince model tamamlanmıştır. Bu model sonucuna göre arazi özelliklerine bağlı olarak akış katsayısı yüzde cinsinden (a_2) değerleri elde edilmiştir.



Şekil 4.10. Model 2 akış şeması (Toprak, 2009)

4.2.1. Bulanıklaştırma ve Üyelik Derecelerinin Atanması

Bulanık modelde bağımsız değişkenler girdi (input) verilerini oluştururken Model 2'de eğim (S) ve arazi kullanımı (G) kullanılmıştır. İki değişken de arazi koşullarına bağlı özellikler olup akış katsayısı üzerinde farklı etkiye sahip olduğu dikkate alınmıştır. Şekil 4.11'de görüldüğü üzere Model 2 kurulmuştur.



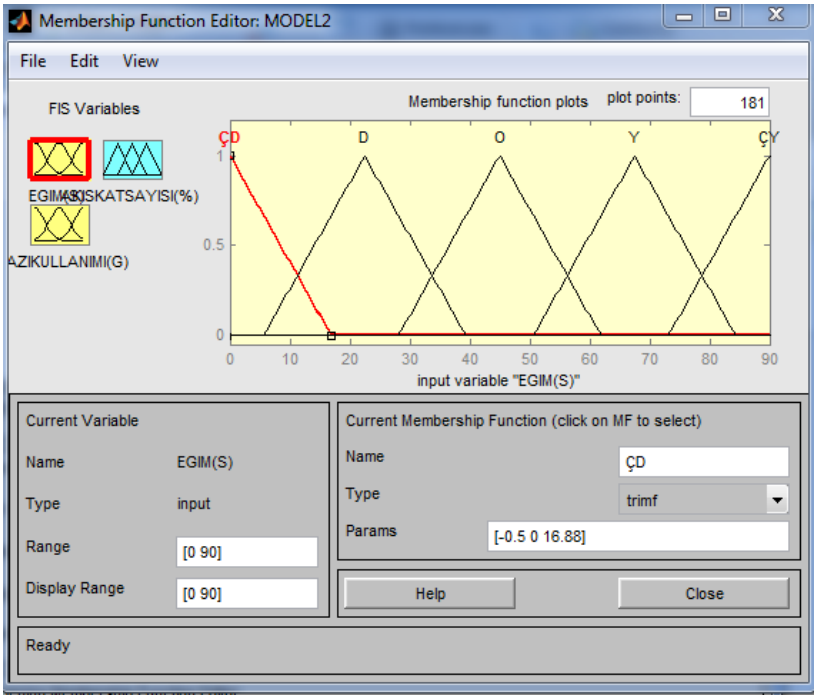
Şekil 4.11. Model 2 girdileri

Modelde eğim girdisi çok düşük (ÇD), düşük (D), orta (O), yüksek (Y) ve çok yüksek (ÇY) şeklinde sözel ifadeler ile adlandırılan beşer adet bulanık kümeden oluşmuş üyelik fonksiyonu ile bulanıklaştırılmıştır. Arazi kullanımı ise 1 (Çok geçirimli), 2 (Geçirimli), 3 (Orta geçirimli), 4 (Az geçirimli) ve 5 (Geçirimsiz) olmak üzere 1-5 arasında beş kümeye ayrılmıştır. Eğim ve arazi kullanımı değişkenlerine ait anahtar değerler modelin girdisi olarak kullanılmıştır (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.6. Model 2 değişkenleri için kullanılan çekirdek değerler

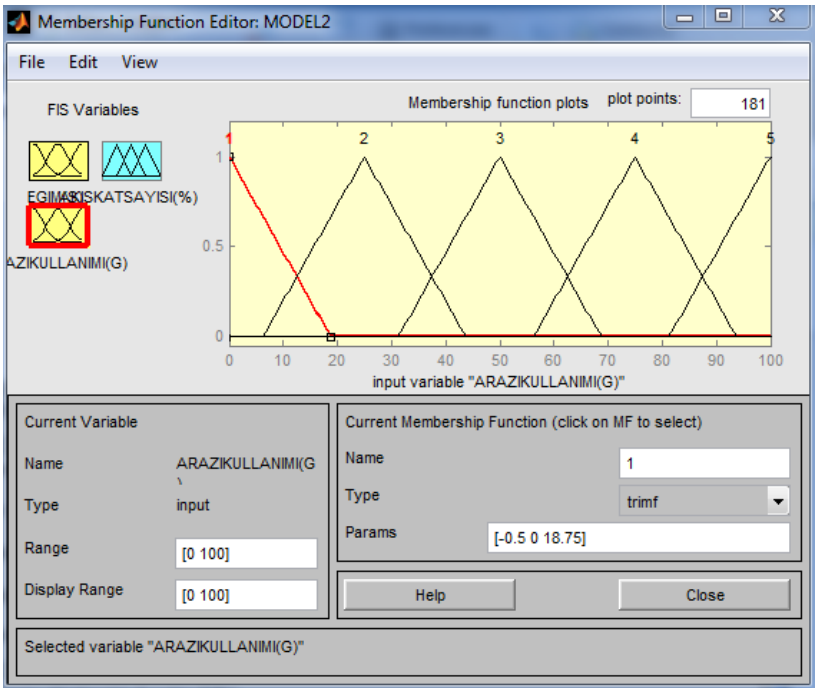
	X_R	C_{i-1}	C_i	C_{i+1}	UW	EUW	O	K_1	K_5
S	90	22.5	45	67.5	11.25	16.87	5.62	5.62	84.37
G	100	25	50	75	12.5	18.75	6.25	6.25	93.75
a_2	100	41.94	50	58.06	2.08	3.12	1.04	1.04	98.95[1]
Kullanılan bağıntı	(3.6)	(3.7)	(3.8)	(3.9)	(3.10)	(3.12)	(3.11)	(3.13)	(3.14)

[1]Çizelge 4.6'da verilen a_2 (akış katsayısı) için son anahtar değer K_{25}'dir.



Şekil 4.12. Eğim girdisine ait bulanık kümelerin görünümü

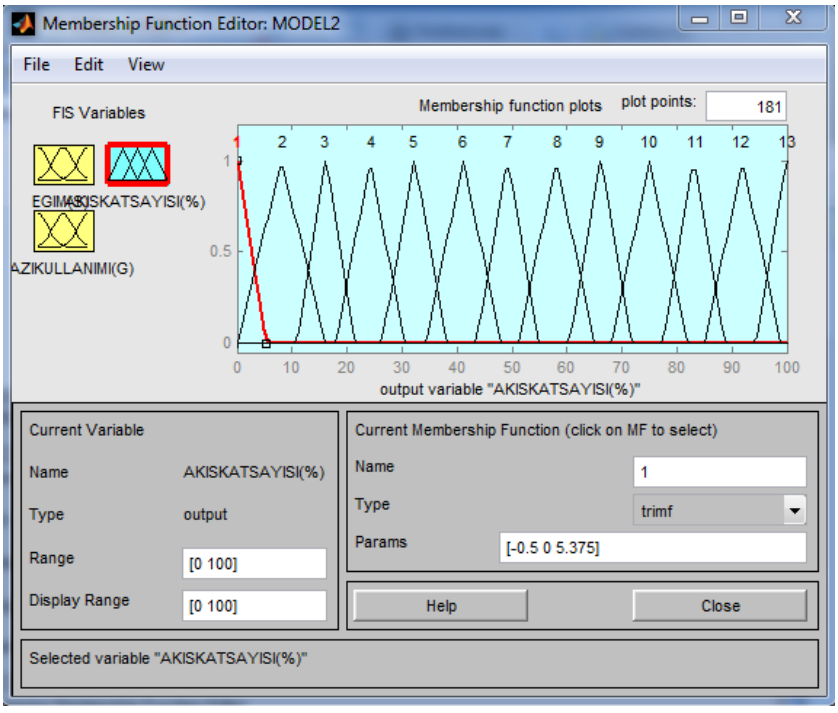
Eğim (S) girdisine ait bulanık kümelerin görünümü Şekil 4.12 'de, arazi kullanımına ait bulanık kümelerin görünümü ise Şekil 4.13'te verilmiştir.



Şekil 4.13. Arazi kullanımı girdisine ait bulanık kümelerin görünümü

Burada a_2 akış katsayısı (%) yani bağımlı değişken modelin çıktısı olarak tanımlanmıştır. Eldeki bağımsız değişkenlerin model çıktısı üzerindeki etkisi eğim için %70 ve arazi kullanımı için %30 olarak alınmıştır. Bu oranlar uzman

deneyim ve görüşlerine bağlı olarak seçilmiştir. Model çıktısının (akış katsayısının) üyelik fonksiyonunda bulanık küme sayısı SMRGT yöntemi gereği 13 olarak belirlenmiştir. Bu durum iç içe geçen üçgenlerin olması ve bu üçgenlerin teke indirilmesi ile oluşmuştur. Normal şartlarda kural sayısı 25 iken bu kurallar 13 çıktı üyelik fonksiyonuna denk gelmektedir. Değişkenin en büyük ve en küçük (maksimum ve minimum) değer aralığı ise sırasıyla, yağışın tamamının akışa geçmesi hali için yüzde cinsinde 100 ve yağışın hiç akışa geçmemesi hali için yüzde cinsinden 0 alınmıştır. Böylece yağışın akışa geçmesinin bütün olasılıkları dikkate alınmış ve modelin genelleştirilebilir olması sağlanmıştır. Bağımsız değişkenlerin sayısal verilerini elde etmek için kullanılan hesaplama yöntemi bağımlı değişkenin bulanık kümelerinin hesabı içinde kullanılmıştır. Üyelik fonksiyonlarının birim genişlikleri anahtar ve çekirdek değerleri 3.6-3.14 arası bağıntılardaki denklemler kullanılarak hesaplanmış Şekil 4.14 'te görüldüğü üzere model kurulmuştur.



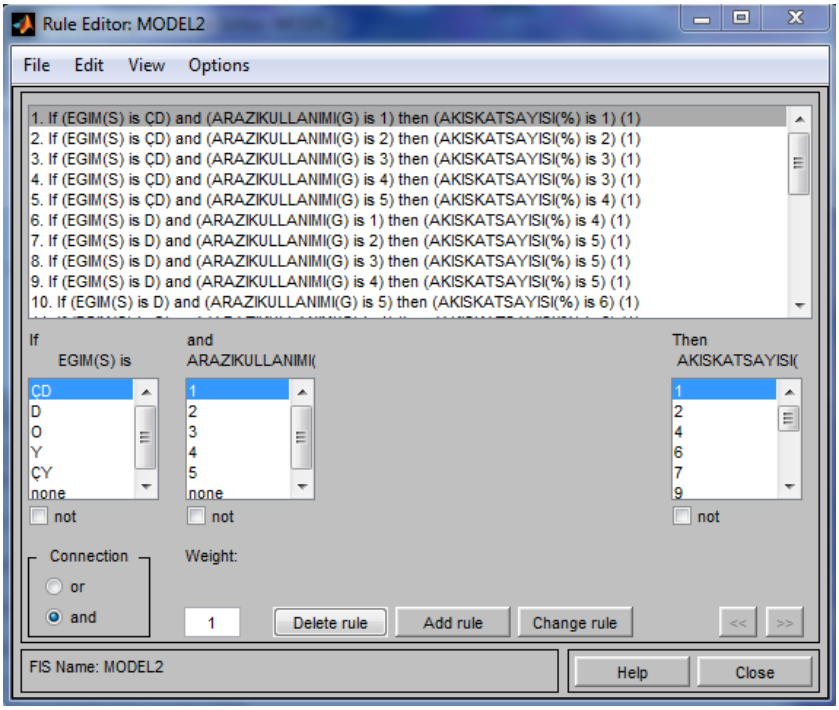
Şekil 4.14. Akış katsayısı (%) çıktısına ait bulanık kümelerin görünümü

4.2.2. Kural Tabanının Oluşturulması

Bağımlı ve bağımsız değişkenler tanımlandıktan sonra kuralların oluşturulması gerekir. Model 2 ‘de, Model 1’de olduğu gibi SMRGT yöntemi kullanılmıştır. Eğim ve arazi kullanımı girdilerinin oluşturduğu bağımsız değişkenlerin çok düşük, düşük, orta, yüksek, çok yüksek değerlerinden ve 1, 2, 3, 4, 5 oluşan bulanık kümelerinin birbiri ile kombinasyonu sonucu 25 farklı olasılık oluşmaktadır. Bu olasılıkların her biri bir kurala karşılık gelecek şekilde kural tabanı 25 bulanık kuraldan meydana gelmiştir. Böylece hiçbir olası fiziksel durum göz ardı edilmemiştir. SMRGT bulanık kural tabanı Çizelge 4.7’de verilmiştir. Birinci sütun eğim girdisine ait maksimum ve minimum değerlere karşılık gelen sözel ifadeleri, ikinci sütun arazi kullanımı girdisine ait sayısal değerlere karşılık gelen sözel ifadeleri ve son sütunda bağımsız değişkenlerle oluşturulan değerlere karşılık gelen akış katsayısına ait bağımlı değişkenin aldığı değerleri ifade etmektedir (Çizelge 4.7). Ayrıca Şekil 4.15’de bulanık kural tabanının MATLAB ara yüzü verilmiştir. Kurallar oluşturulurken her bir girdinin modeldeki ağırlığı 1 olarak alınmıştır. Çok iyi bilindiği üzere kural tabanı oluşturulurken deneyimler, literatürdeki bilgiler, bulanık istatistik ve sezgisel yaklaşımlar gibi pek çok kaynaktan faydalanılabilir.

Çizelge 4.7. Model 2 için SMRGT bulanık kural tablosu

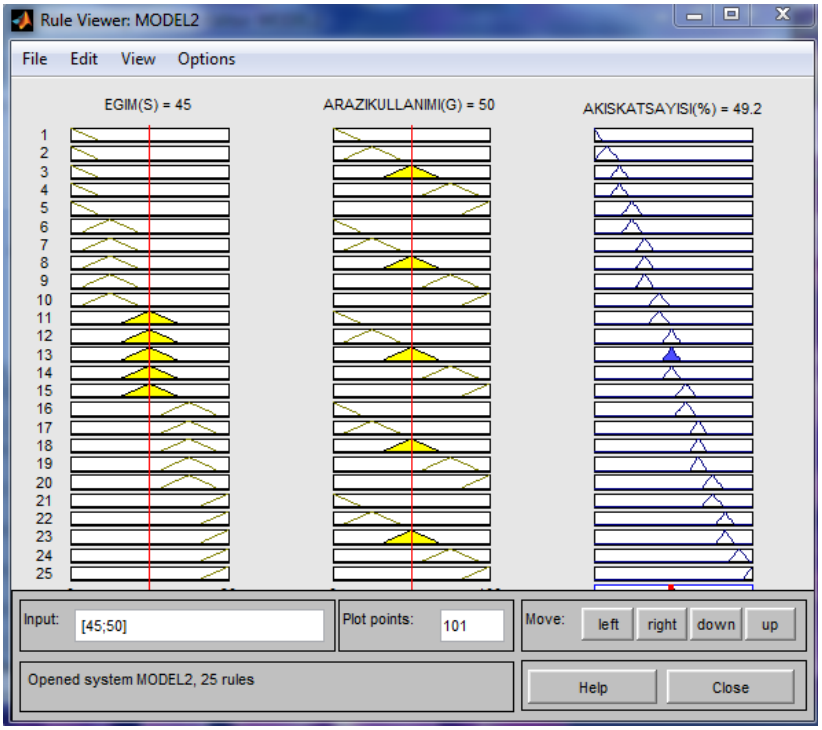
Girdi 1		**Girdi 2**		**Çıktı**	
Eğim (°)		**Arazi Kullanımı (%)**		**Akış Katsayısı (%)**	
Sayısal	**Sözel**	**Sayısal**	**Sözel**	**Sayısal**	**Sözel**
0	Çok Düşük	0.00	Çok Geçirimli	0.00	1
0	Çok Düşük	25.00	Geçirimli	8.06	2
0	Çok Düşük	50.00	Orta Geçirimli	16.13	3
0	Çok Düşük	75.00	Az Geçirimli	16.94	4
0	Çok Düşük	100.00	Geçirimsiz	24.19	5
22.5	Düşük	0.00	Çok Geçirimli	25.00	6
22.5	Düşük	25.00	Geçirimli	32.26	7
22.5	Düşük	50.00	Orta Geçirimli	33.06	8
22.5	Düşük	75.00	Az Geçirimli	33.87	9
22.5	Düşük	100.00	Geçirimsiz	41.13	10
45	Orta	0.00	Çok Geçirimli	41.94	11
45	Orta	25.00	Geçirimli	49.19	12
45	Orta	50.00	Orta Geçirimli	50.00	13
45	Orta	75.00	Az Geçirimli	50.81	14
45	Orta	100.00	Geçirimsiz	58.06	15
67.50	Yüksek	0.00	Çok Geçirimli	58.87	16
67.50	Yüksek	25.00	Geçirimli	66.13	17
67.50	Yüksek	50.00	Orta Geçirimli	66.94	18
67.50	Yüksek	75.00	Az Geçirimli	67.74	19
67.50	Yüksek	100.00	Geçirimsiz	75.00	20
90	Çok Yüksek	0.00	Çok Geçirimli	75.81	21
90	Çok Yüksek	25.00	Geçirimli	83.06	22
90	Çok Yüksek	50.00	Orta Geçirimli	83.87	23
90	Çok Yüksek	75.00	Az Geçirimli	91.94	24
90	Çok Yüksek	100.00	Geçirimsiz	100.00	25



Şekil 4.15. Model 2 için üretilen kuralların MATLAB görünümü

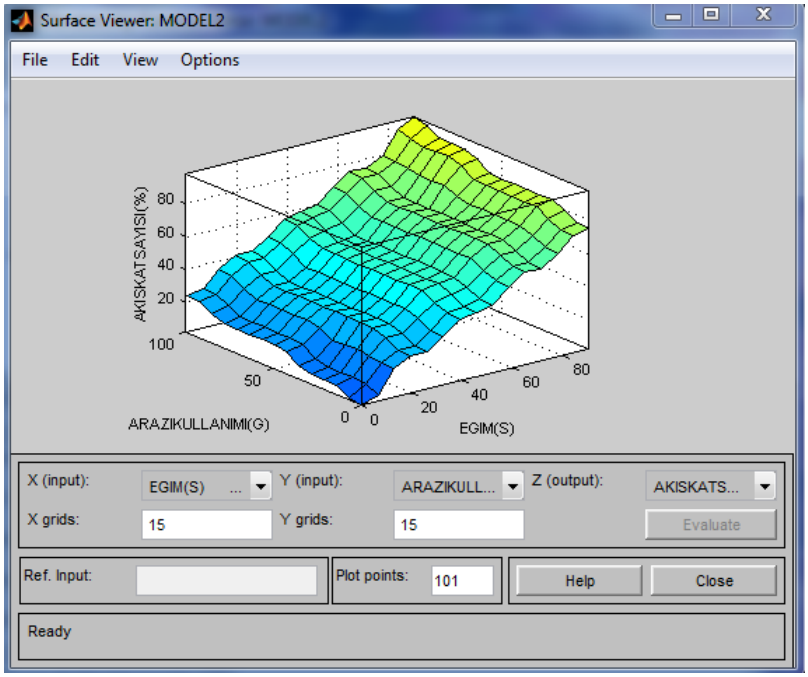
4.2.3. Model Sonuçları

Bağımlı ve bağımsız değişkenlerden oluşan sistem girdileri arasındaki bulanık ilişki bulanıklaştırma (bulanık kümeler ile), bulanık kural tabanı ve durulaştırma ile belirlenir ve sistem çıktısı elde edilir. Çizelge 4.7'de eğim ve arazi kullanımı anahtar değerlerine karşılık modelin verdiği çıkış değerleri hem sayısal hem de bulanık kümeler şeklinde gösterilmektedir. Kurulan modele göre akış katsayısının eğim ve arazi kullanımına bağlı olarak değişimi Şekil 4.16'da verilmiştir. Eğim 45° ve arazi kullanımı %50 iken akış katsayısı %49.2 olmakta ve eğim 90° ve arazi kullanımı %100 iken akış katsayısı %98.4 e karşılık gelmektedir. Buna göre akış katsayısının hem eğim hem de arazi kullanımı değişkenleri arasında pozitif bir istatistiksel ilişki mevcuttur. Başka bir ifade ile bağımsız değişkenlerden biri artarken bağımlı değişken de artmaktadır. Nitekim Pearson korelasyon katsayıları eğim için 0.9, arazi kullanımı için ise 0.43 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.16. Kuralların MATLAB ile grafiksel görünümü

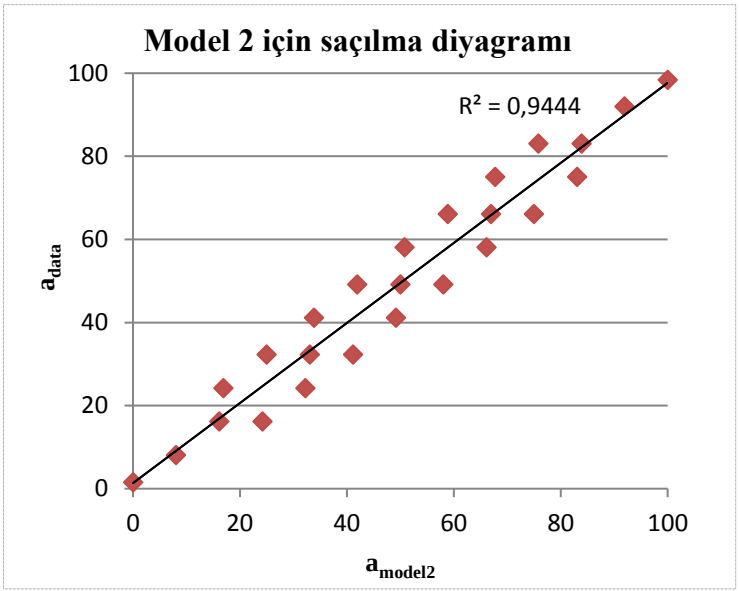
Modelde eğim ve arazi kullanımının akış katsayısı üzerindeki etkisi aynı alınmamıştır. Eğimin görece arazi kullanımından daha fazla etkili olduğu düşünülerek akış katsayısı üzerindeki etkileri sırasıyla 0,7 ve 0,3 ağırlık katsayıları kullanılmıştır.



Şekil 4.17. Akış katsayısının eğim ve arazi kullanımına bağlı olarak değişimi

4.2.4. Model 2 Sonuçlarının Karşılaştırılması ve Tartışılması

Şekil 4.18'de verilerin ve model sonuçlarının saçılma diyagramı göstermektedir. Saçılma diyagramından da kolayca anlaşıldığı üzere model sonuçları neredeyse tamamen eldeki veriler ile uyumludur. Kullanılan veri kümeleri Çizelge 4.7 'de gösterilmiştir. Bağımsız değişkenlerin (eğim ve arazi kullanımı) bağımlı değişken (arazi koşullarına bağlı akış katsayısı, a_2) üzerindeki etkisinin görülmesi için de Şekil 4.17'deki üç boyutlu grafik verilmiştir.



Şekil 4.18. Model ve data sonuçlarının karşılaştırılması

Çizelge 4.8. Model 2 kullanılan veri kümeleri ve sonuçları

Eğim (º)	**Arazi kullanımı (%)**	**Akış K. (%)**	
S	**G**	a_{data}	a_{model2}
0	0.00	0.00	1.49
0	25.00	8.06	8.07
0	50.00	16.13	16.13
0	75.00	24.19	16.13
0	100.00	32.26	24.20
22.5	0.00	16.94	24.20
22.5	25.00	25.00	32.26
22.5	50.00	33.06	32.26
22.5	75.00	41.13	32.26
22.5	100.00	49.19	41.11
45	0.00	33.87	41.11
45	25.00	41.94	49.17
45	50.00	50.00	49.17
45	75.00	58.06	49.17
45	100.00	66.13	58.06
67.5	0.00	50.81	58.06
67.5	25.00	58.87	66.12
67.5	50.00	66.94	66.12
67.5	75.00	75.00	66.12
67.5	100.00	83.06	75.00
90	0.00	67.74	75.00
90	25.00	75.81	83.06
90	50.00	83.87	83.06
90	75.00	91.94	91.94
90	100.00	100.00	98.40

Karşılaştırma için kullanılan büyüklüklerin hesaplanan değerleri Model 2 için Çizelge 4.9'da verilmiştir. Aralarındaki istatistiksel ilişki Pearson korelasyon katsayısı ile ölçülmüş ve bu katsayı 0.971 olarak hesaplanmıştır. Oldukça yüksek (1'e yakın) olması modelin eldeki veriler ile uyum sağladığını göstermektedir. Model sonucu akış katsayısı, a_2'lerde 0 değerinin olmasından ötürü ortalama mutlak rölatif hata (OMRH) sonsuz çıkmış, 0 değeri kaldırılarak yapılan hesap sonucunda OMRH %16.85 olarak hesaplanmıştır. Değişkenler arasındaki korelasyon katsayıları matrisi Çizelge 4.9'da verilmiştir. Hataların düşük olması, Pearson korelasyon katsayısının pozitif değer olarak 1'e yakın (yüksek) olması ve eldeki veriler ve model sonuçlarına ait istatistik büyüklüklerin birbirine yakın olması modelin başarısının önemli göstergeleridir. Model 2 için Çizelge 4.9'da verilen farklı hatalar ve istatistik büyüklüklere bakıldığında hataların oldukça düşük, korelasyon katsayısının oldukça yüksek ve istatistik büyüklüklerin oldukça birbirine yakın olduğu görülmektedir. Bu yüzden Model 1 kadar olmamakla birlikte Model 2'nin de başarılı olduğu ve gerçekçi sonuçlar verdiği söylenebilir

Çizelge 4.9. Model 2 sonuçlarına ait istatistikler ve hatalar

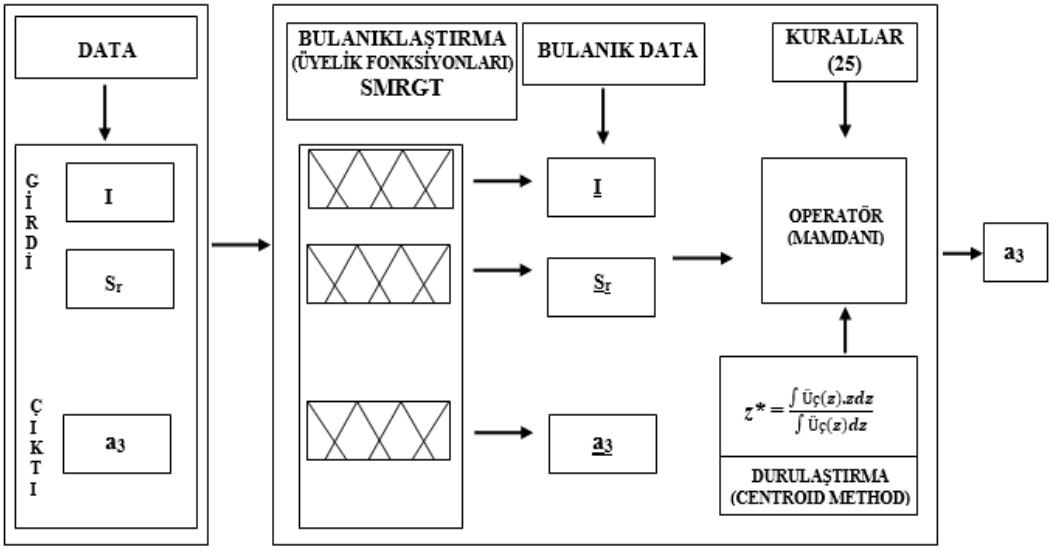
	İSTATİSTİK BÜYÜKLÜKLER							HATALAR			
	X_{max}	X_{min}	X_m	S_x	C_{sX}	C_{vX}	r	OKH	OKKH	OMH	OMRH (%)
Data	100.000	0.430	58.750	32.654	0.000	0.555	0.971	39.603	6.293	5.254	16.857
Model	98.400	1.485	49.506	26.291	0.025	0.531					

Çizelge 4.10. Model 2 değişkenleri için korelasyon katsayıları matrisi

	S	G	a_{data}	a_2
S	1	0.000	0.902	0.968
G		1	0.429	0.226
a_{data}			1	0.971
a_2				1

4.3. Model 3 Uygulama

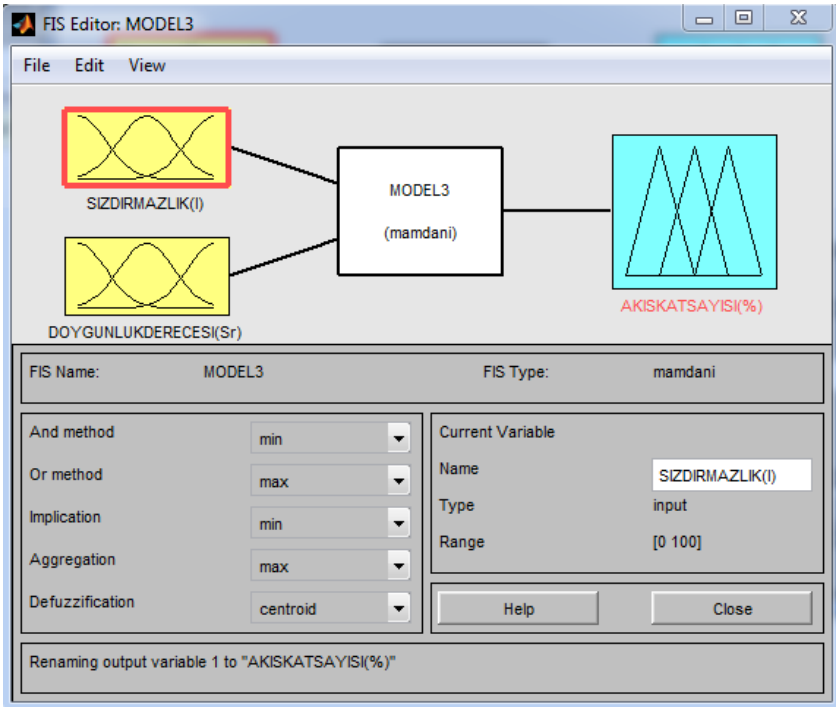
Bu çalışmada kurulan modelin tasarlanması için genel akış şeması Şekil 4.19'da gösterilmiştir. Model kurulmaya başlarken Model 1 ve 2 de olduğu gibi ilk önce giriş işlemleri yapılmıştır. Bu giriş işlemleri bağımsız (girdi) ve bağımlı (çıktı) değişkenleri belirlenmiştir. Üyelik fonksiyonları ile girdi ve çıktılara bulanıklaştırma işlemi yapılmıştır. Ardından kurallar oluşturulmuş (35 adet), durulaştırma işlemi olarak ağırlık merkezi yöntemi (centroid method) ve bulanık çıkarım için Mamdani yöntemi seçilmiştir. Bu işlemler tamamlanıp çıktı elde edilince model tamamlanmıştır. Bu model sonucuna göre zemin özelliklerine bağlı olarak akış katsayısı yüzde cinsinden (a_3) değerleri elde edilmiştir.



Şekil 4.19. Model 3 akış şeması (Toprak, 2009)

4.3.1. Bulanıklaştırma ve Üyelik Derecelerinin Atanması

Bulanık modelde bağımsız değişkenler girdi (input) verilerini oluştururken Model 3'de sızdırmazlık (I) ve doygunluk derecesi (S_r) kullanılmıştır. İki değişkende zemin özelliklerine bağlı olup akış katsayısı üzerinde etkiye sahiptirler. Şekil 4.20'de görüldüğü üzere Model 3 kurulmuştur.



Şekil 4.20. Model 3 girdileri

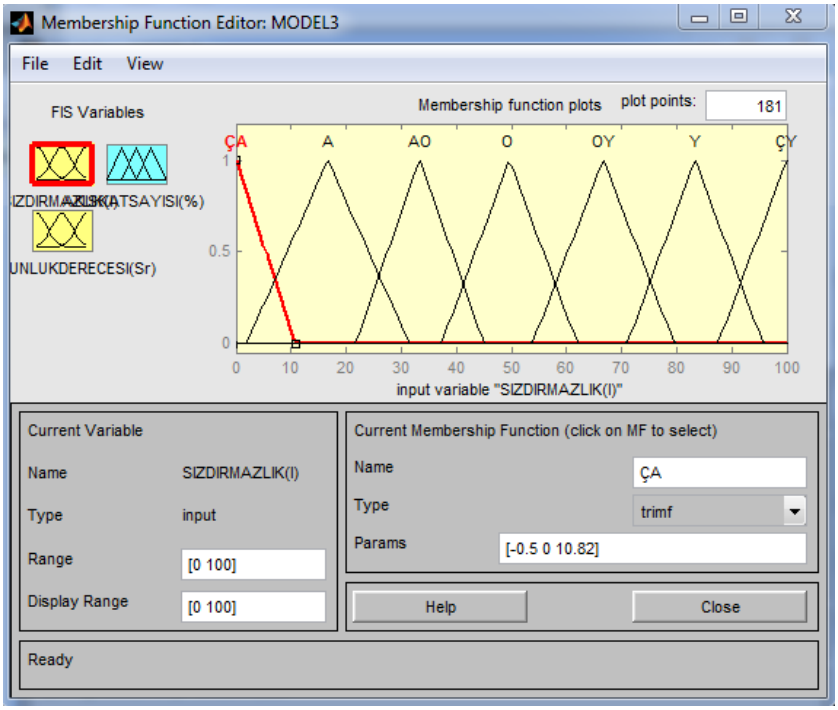
Modelde sızdırmazlık girdisi kil, silt zeminler için çok yüksek (ÇY), killi silt zeminler yüksek (Y), kumlu silt zeminler orta yüksek (OY), ince kum zeminler orta (O), orta-iri kum zeminler az orta (AO), iri kum-ince çakıl zeminler az (A), iri çakıl çok az (ÇA) şeklinde sözel ifadeler ile adlandırılan yedi adet bulanık kümeden oluşmuş üyelik fonksiyonu ile bulanıklaştırılmıştır. Doygunluk derecesi ise çok düşük (ÇD), düşük (D), orta (O), yüksek (Y) ve çok yüksek (ÇY) olmak üzere beş kümeye ayrılmıştır. Sızdırmazlık ve doygunluk dereceleri değişkenlerine ait anahtar değerler modelin girdisi olarak kullanılmıştır (Çizelge 4.11).

Çizelge 4.11. Model 3 değişkenleri için kullanılan çekirdek değerler

	X_R	C_{i-2}	C_{i-1}	C_i	C_{i+1}	C_{i+2}	UW	EUW	O	K_1	K_5
I	100	16.7	33.33	49.6	66.7	83.3	8.33	12.5	4.16	4.16	95.69[1]
S_r	100		25	50	75		12.5	18.75	6.25	6.25	93.75
a_3	100		45.83	49.80	50		1.47	2.20	0.73	0.73	99.26[2]
Kullanılan bağıntı	(3.6)	(3.7)	(3.7)	(3.8)	(3.9)	(3.9)	(3.10)	(3.12)	(3.11)	(3.13)	(3.14)

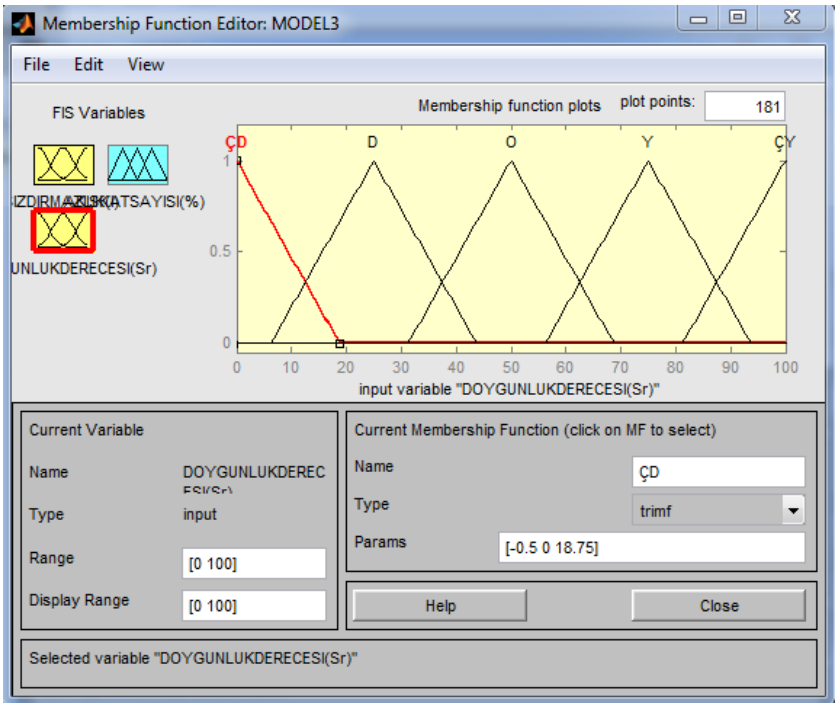
[1]Çizelge 4.11'de verilen I (sızdırmazlık) değişkeni için son anahtar değer K_7'dir.

[2]Çizelge 4.11'de verilen a_3 (akış katsayısı) değişkeni için son anahtar değer K_{35}'dir.



Şekil 4.21. Sızdırmazlık girdisine ait bulanık kümelerin görünümü

Sızdırmazlık (I) girdisine ait bulanık kümelerin görünümü Şekil 4.21'de, doygunluk derecesine ait bulanık kümelerin görünümü ise Şekil 4.22'de verilmiştir.

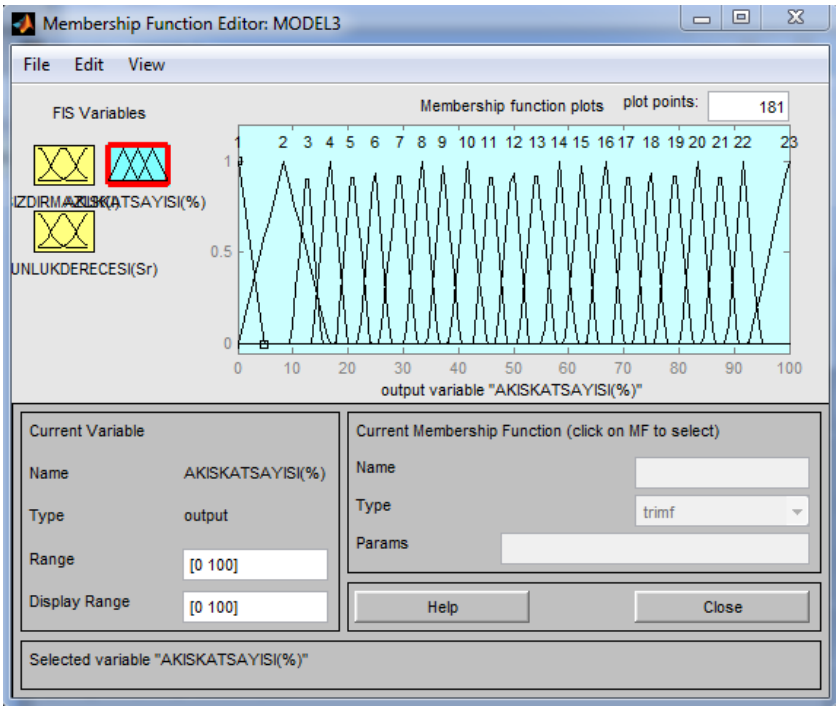


Şekil 4.22. Doygunluk derecesi girdisine ait bulanık kümelerin görünümü

Burada a_3 akış katsayısı (%) yani bağımlı değişken modelin çıktısı olarak tanımlanmıştır. Eldeki bağımsız değişkenlerin model çıktısı üzerindeki etkisi

sızdırmazlık ve doygunluk derecesi için eşit dağılacak şekilde %50 olarak alınmıştır. Bu oranlar uzman deneyim ve görüşlerine bağlı olarak seçilmiştir. Model çıktısının (akış katsayısının) üyelik fonksiyonunda bulanık küme sayısı SMRGT yöntemi gereği 23 olarak belirlenmiştir. Bu durum iç içe geçen üçgenlerin olması ve bu üçgenlerin teke indirilmesi ile oluşmuştur. Normal şartlarda kural sayısı 35 iken bu kurallar 23 çıktı üyelik fonksiyonuna denk gelmektedir.

Değişkenin en büyük ve en küçük (maksimum ve minimum) değer aralığı ise sırasıyla, yağışın tamamının akışa geçmesi hali için yüzde cinsinde 100 ve yağışın hiç akışa geçmemesi hali için yüzde cinsinden 0 alınmıştır. Böylece yağışın akışa geçmesinin bütün olasılıkları dikkate alınmış ve modelin genelleştirilebilir olması sağlanmıştır. Bağımsız değişkenlerin sayısal verilerini elde etmek için kullanılan hesaplama yöntemi bağımlı değişkenin bulanık kümelerinin hesabı içinde kullanılmıştır. Üyelik fonksiyonlarının birim genişlikleri anahtar ve çekirdek değerleri 3.6- 3.14 arası bağıntılardaki denklemler kullanılarak hesaplanmış Şekil 4.23 ‘te görüldüğü üzere model kurulmuştur.



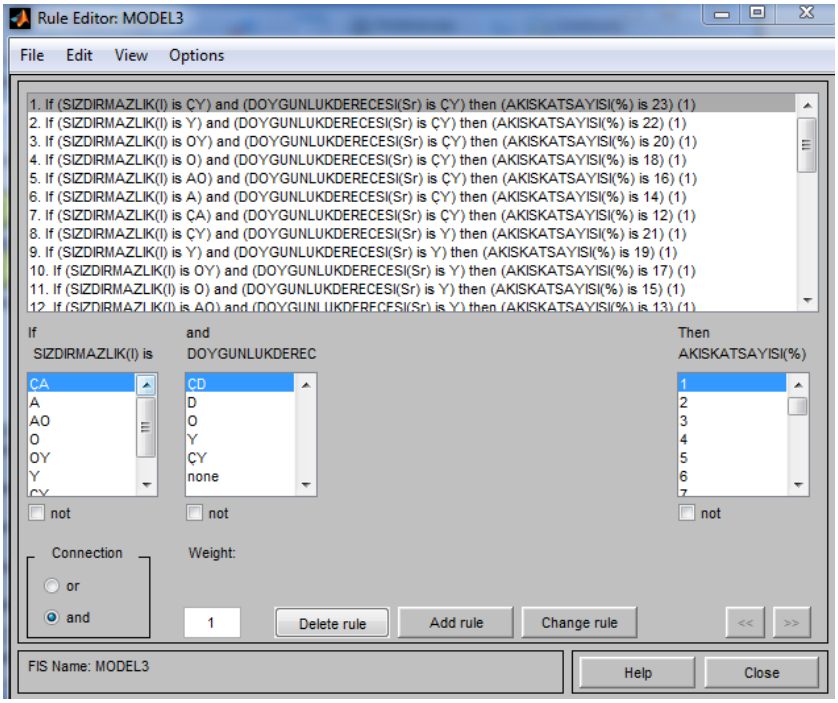
Şekil 4.23. Akış katsayısı (%) çıktısına ait bulanık kümelerin görünümü

4.3.2. Kural Tabanının Oluşturulması

Bağımlı ve bağımsız değişkenler tanımlandıktan sonra kuralların oluşturulması gerekir. Model 3'de 1. ve 2. modelde olduğu gibi SMRGT yöntemi kullanılmıştır. Sızdırmazlık ve doygunluk derecesi girdilerinin oluşturduğu bağımsız değişkenlerin yedi ayrı bulanık kümesi ile doygunluk derecesinin beş ayrı bulanık kümesinin kombinasyonu sonucu 35 farklı olasılık oluşmaktadır. Bu olasılıkların her biri bir kurala karşılık gelecek şekilde kural tabanı 35 bulanık kuraldan meydana gelmiştir. Böylece hiçbir olası fiziksel durum göz ardı edilmemiştir. SMRGT bulanık kural tabanı Çizelge 4.12'de verilmiştir. Birinci sütun doygunluk derecesi girdisine ait maksimum ve minimum değerlere karşılık gelen sözel ifadeleri, ikinci sütun sızdırmazlık girdisine ait sayısal değerlere karşılık gelen sözel ifadeleri ve son sütunda bağımsız değişkenlerle oluşturulan değerlere karşılık gelen akış katsayısına ait bağımlı değişkenin aldığı değerleri ifade etmektedir (Çizelge 4.12). Ayrıca Şekil 4.24'te bulanık kural tabanının MATLAB ara yüzü verilmiştir. Kurallar oluşturulurken her bir girdinin modeldeki ağırlığı 1 olarak alınmıştır.

Çizelge 4.12. Model 3 için SMRGT bulanık kural tablosu

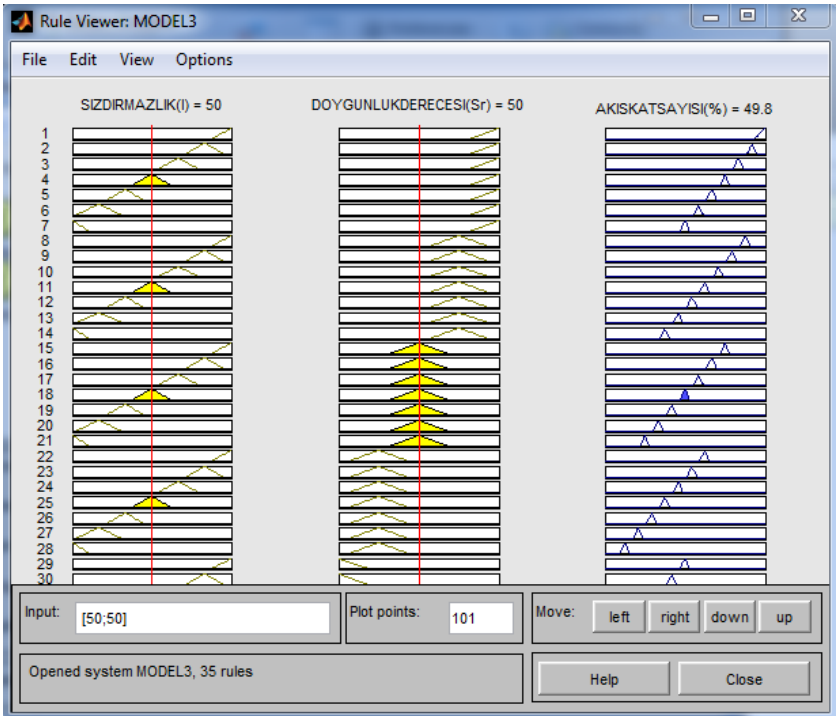
Girdi 1		**Girdi 2**		**Çıktı**	
Doygunluk Derecesi (Sr)		**Sızdırmazlık (I)**		**Akış Katsayısı (%)**	
Sayısal	**Sözel**	**Sayısal**	**Sözel**	**Sayısal**	**Sözel**
100	Çok Yüksek	100	Çok Yüksek	100.00	35
100	Çok Yüksek	83.33	Yüksek	91.67	34
100	Çok Yüksek	66.67	Orta-Yüksek	83.33	32
100	Çok Yüksek	49.61	Orta	74.80	29
100	Çok Yüksek	33.33	Az-Orta	66.67	27
100	Çok Yüksek	16.67	Az	58.33	23
100	Çok Yüksek	0	Çok Az	50.00	19
75	Yüksek	100	Çok Yüksek	87.50	33
75	Yüksek	83.33	Yüksek	79.17	31
75	Yüksek	66.67	Orta-Yüksek	70.83	28
75	Yüksek	49.61	Orta	62.30	25
75	Yüksek	33.33	Az-Orta	54.17	21
75	Yüksek	16.67	Az	45.83	16
75	Yüksek	0	Çok Az	37.50	12
50	Orta	100	Çok Yüksek	75.00	30
50	Orta	83.33	Yüksek	66.67	26
50	Orta	66.67	Orta-Yüksek	58.33	22
50	Orta	49.61	Orta	49.80	18
50	Orta	33.33	Az-Orta	41.67	14
50	Orta	16.67	Az	33.33	9
50	Orta	0	Çok Az	25.00	7
25	Düşük	100	Çok Yüksek	62.50	24
25	Düşük	83.33	Yüksek	54.17	20
25	Düşük	66.67	Orta-Yüksek	45.83	15
25	Düşük	49.61	Orta	37.50	11
25	Düşük	33.33	Az-Orta	29.17	8
25	Düşük	16.67	Az	20.83	5
25	Düşük	0	Çok Az	12.50	3
0	Çok Düşük	100	Çok Yüksek	50.00	17
0	Çok Düşük	83.33	Yüksek	41.67	13
0	Çok Düşük	66.67	Orta-Yüksek	33.33	10
0	Çok Düşük	49.61	Orta	24.80	6
0	Çok Düşük	33.33	Az-Orta	16.67	4
0	Çok Düşük	16.67	Az	8.33	2
0	Çok Düşük	0	Çok Az	0.00	1



Şekil 4.24. Model 3 için üretilen kuralların MATLAB görünümü

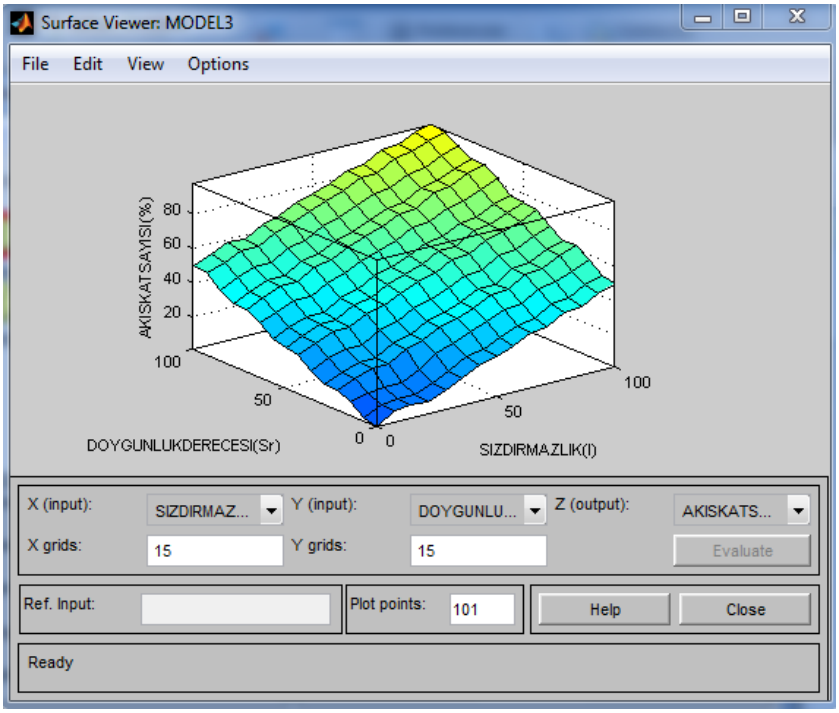
4.3.3. Model Sonuçları

Bağımlı ve bağımsız değişkenlerden oluşan sistem girdileri arasındaki bulanık ilişki bulanıklaştırma (bulanık kümeler ile), bulanık kural tabanı ve durulaştırma ile belirlenir ve sistem çıktısı elde edilir. Çizelge 4.12'de doygunluk derecesi ve sızdırmazlık anahtar değerlerine karşılık modelin verdiği çıkış değerleri hem sayısal hem de bulanık kümeler şeklinde gösterilmektedir. Kurulan modele göre akış katsayısının doygunluk derecesi ve sızdırmazlığa bağlı olarak değişimi Şekil 4.25'te verilmiştir. Sızdırmazlık %50 ve doygunluk derecesi %50 iken akış katsayısı %49.8 olmakta ve sızdırmazlık %100 ve doygunluk derecesi %100 iken akış katsayısı %97.9'a karşılık gelmektedir. Buna göre akış katsayısının hem sızdırmazlık hem de doygunluk derecesi değişkenleri arasında pozitif bir istatistiksel ilişki mevcuttur. Başka bir ifade ile bağımsız değişkenlerden biri artarken bağımlı değişken de artmaktadır. Nitekim Pearson korelasyon katsayıları sızdırmazlık için 0.68, doygunluk derecesi için ise 0.72 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.25. Kuralların MATLAB ile grafiksel görünümü

Şekil 4.26'da ki üç boyutlu grafikten akış katsayısının doygunluk derecesi ve sızdırmazlığa bağlı olarak değişimi kolay bir şekilde anlaşılmaktadır.

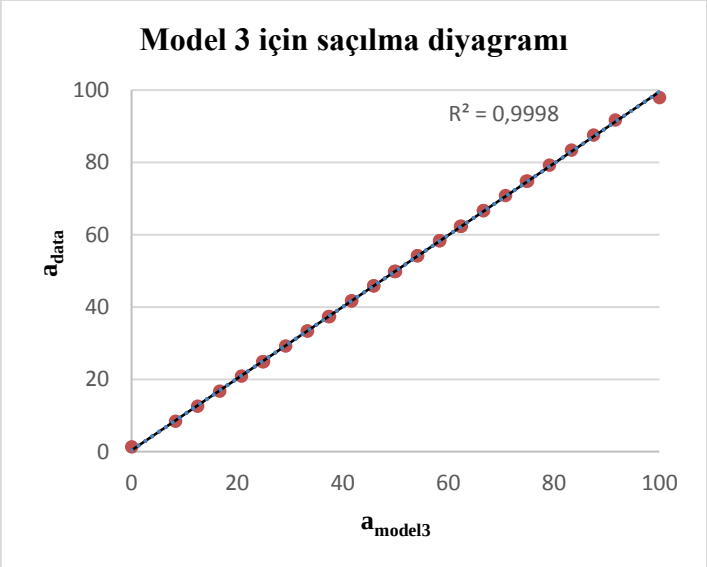


Şekil 4.26. Akış katsayısının doygunluk derecesi ve sızdırmazlığa bağlı olarak değişimi

4.3.4. Model 3 Sonuçlarının Karşılaştırılması ve Tartışılması

Şekil 4.27 verilerin ve model sonuçlarının saçılma diyagramını göstermektedir. Saçılma diyagramından da kolayca anlaşıldığı üzere model sonuçları neredeyse tamamen eldeki veriler ile uyumludur. Kullanılan veri kümeleri Çizelge 4.12 'de gösterilmiştir. Bağımsız değişkenlerin (doygunluk derecesi ve sızdırmazlık) bağımlı değişken (zemin koşullarına bağlı akış katsayısı, a_3) üzerindeki etkisinin görülmesi için de Şekil 4.26'daki üç boyutlu grafik verilmiştir.

İlk iki modelde uygulandığı gibi kodlama çalıştırılarak model ve veri sonuçları değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda Şekil 4.27'deki saçılma diyagramı elde edilmiştir. Aralarındaki korelasyon 0,999 olup çıktıda 0 değerinin olmasından ötürü ortalama mutlak rölatif hata (OMRH) sonsuz çıkmış, 0 değeri kaldırılarak yapılan işlem sonucunda %3.016 hata çıkmıştır. Kullanılan veri kümeleri Çizelge 4.13 'de gösterilmiştir.



Şekil 4.27. Model ve data sonuçlarının karşılaştırılması

Çizelge 4.13. Model 3 kullanılan veri kümeleri ve sonuçları

Doygunluk Derecesi (%) (S_r)	Sızdırmazlık (%) (I)	Akış K. (%) a_{data}	a_{model3}
100	100.00	100.00	97.89
100	83.33	91.66	91.66
100	66.67	83.33	83.33
100	49.61	74.80	74.81
100	33.33	66.66	66.65
100	16.67	58.33	58.34
100	0.00	50.00	49.81
75	100.00	87.50	87.50
75	83.33	79.16	79.17
75	66.67	70.83	70.82
75	49.61	62.30	62.29
75	33.33	54.16	54.17
75	16.67	45.83	45.82
75	0.00	37.50	37.29
50	100.00	75.00	74.81
50	83.33	66.66	66.65
50	66.67	58.33	58.34
50	49.61	49.80	49.81
50	33.33	41.66	41.65
50	16.67	33.33	33.34
50	0.00	25.00	24.82
25	100.00	62.50	62.29
25	83.33	54.16	54.17
25	66.67	45.83	45.82
25	49.61	37.30	37.29
25	33.33	29.16	29.17
25	16.67	20.83	20.82
25	0.00	12.50	12.50
0	100.00	50.00	49.81
0	83.33	41.66	41.65
0	66.67	33.33	33.34
0	49.61	24.80	24.82
0	33.33	16.66	16.65
0	16.67	8.33	8.35
0	0.00	0	1.30

Karşılaştırma için kullanılan büyüklüklerin hesaplanan değerleri Model 3 için Çizelge 4.14'te verilmiştir. Aralarındaki istatistiksel ilişki Pearson korelasyon katsayısı ile ölçülmüş ve bu katsayı 0.999 olarak hesaplanmıştır. Oldukça yüksek (1'e yakın) olması modelin eldeki veriler ile uyum sağladığını göstermektedir.

Model sonucu akış katsayısı, a_3'lerde 0 değerinin olmasından ötürü ortalama mutlak rölatif hata (OMRH) sonsuz çıkmış, 0 değeri kaldırılarak yapılan hesap sonucunda OMRH %3,016 olarak hesaplanmıştır. Diğer karşılaştırma sonuçları Değişkenler arasındaki korelasyon katsayıları matrisi Çizelge 4.14'te verilmiştir. Hataların düşük olması, Pearson korelasyon katsayısının pozitif değer olarak 1'e yakın (yüksek) olması ayrıca veri ve model sonuçlarına ait istatistik büyüklüklerin birbirine yakın olması modelin başarısının önemli göstergeleridir. Model 3 için Çizelge 4.14'te verilen farklı hatalar ve istatistik büyüklüklere bakıldığında hataların oldukça düşük, korelasyon katsayısının oldukça yüksek ve istatistik büyüklüklerin oldukça birbirine yakın olduğu görülmektedir. Bu yüzden Model 3'ün de başarılı olduğu ve gerçekçi sonuçlar verdiği söylenebilir hatta Model 1 ve 2'den daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.

Çizelge 4.14. Model 3 sonuçlarına ait istatistik büyüklükler ve hatalar

	İSTATİSTİK BÜYÜKLÜKLER							HATALAR			
	X_{max}	X_{min}	X_m	S_x	C_{sX}	C_{vX}	r	OKH	OKKH	OMH	OMRH (%)
Data	100.000	0.000	49.972	24.295	0.001	0.486	0.999	0.183	0.427	0.138	3.016
Model	97.890	1.300	49.910	24.097	0.004	0.482					

Çizelge 4.15. Model 3 değişkenleri için korelasyon katsayıları matrisi

	I	**S_r**	**a_{data}**	**a_3**
I	1	0.000	0.686	0.685
S_r		1	0.728	0.727
a_{data}			1	0.999
a_3				1

4.4. Ortalama Akış Katsayısının Bulunması

Bu adımda yağmur suyu drenaj sistemlerinde yerleşim yeri için akış katsayısı hesaplanırken kurulan üç farklı modele bağlı olarak ortalama bir akış katsayısı elde edilmiştir. Daha önceden MATLAB bulanık mantık modülünde SMRGT yöntemine göre hazırlanan her üç model dikkate alınarak fis dosyalarından okumalar yapılmıştır. Model 1, Model 2 ve Model 3 için ayrı ayrı birer akış katsayısı hesaplanıp ardından ortalama alınarak tek bir akış katsayısı hesaplanmıştır.

Sıcaklık ve rüzgâr değişkenlerine bağlı akış katsayısı (a_1)

Eğim ve arazi kullanımına bağlı akış katsayısı (a_2)

Sızdırmazlık ve doygunluk derecesine bağlı akış katsayısı (a_3)

Hesaplandıktan sonra ağırlıklı olarak her üç akış katsayısının aynı oranda etki ettiği düşünülüp ortalama bir akış katsayısı hesaplanmıştır. Çalışılan bölge özelliklerini göz önünde bulundurarak akış katsayılarının etki ettikleri ağırlık dereceleri istenilen değerde alınabilir. Böylece farklı koşullara bağlı olarak modellerdeki akış katsayısının etkisi değiştirilebilirken daha hassas akış katsayısı değerleri elde edilmiştir. Unutulmamalıdır ki burada bulunan akış katsayısı değerleri günlük ya da aylık verilere karşı okunan değerler değildir. Uzun dönemlik ortalamalar alınmasının nedeni tespit edilen akış katsayısının uzun dönemlik ortalama bir akış katsayısı olmasıdır.

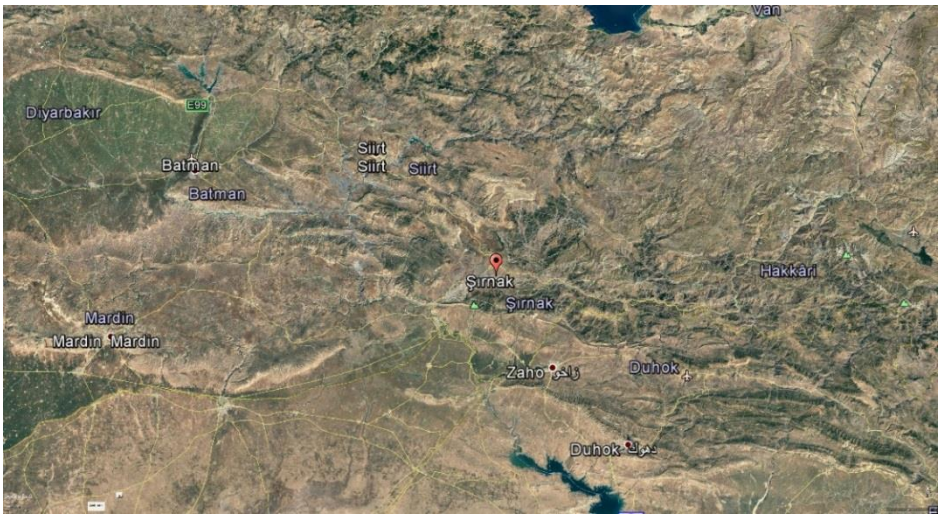
4.5. Örnek Uygulama

Bu çalışma kapsamında Şırnak Üniversitesi Mehmet Emin Acar Kampüsü yerleşkesi için bir akış katsayısı hesaplamaya çalışılmıştır. Şırnak ili 42°-28′ doğu boylamları ve 37°-31′ kuzey enlemleri arasında yer alır. 1.350 metreyi aşkın rakımı ile il merkezi deniz seviyesinden oldukça yüksektir (Şırnak, 2011). Şırnak ili konumu Şekil 4.28'de gösterilmiştir. İlin ortalama yıllık yağış miktarı 672 mm'dir. En az yağışlı ay Ağustos 0.1 mm, en çok yağış alan ay ise Mart 108.9 mm'dir. Günlük en çok yağış miktarı Nisan 87.5 mm'dir. Yağış alan gün sayısı ortalama 77.3 gündür (MGM, 2018).



Şekil 4.28. Şırnak ili konumu

Yüzölçümünün ¾'ü Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin Dicle Bölümü'nde ve ¼'ü Doğu Anadolu Bölgesi'nde bulunan Şırnak ili, batıda Mardin, kuzeyde Siirt, kuzeydoğuda Hakkâri illeri, güneyde Irak ve Suriye ülkeleri ile çevrilidir (Şekil 4.29).



Şekil 4.29. Şırnak ili çevresi

Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde toprakları bulunan ilde birbirinden farklı iki hava kütlesi etkili olmaktadır. Bunlardan birisi, bölgeyi özellikle kış aylarında etkisi altında bulunduran, soğuk karakterli karasal hava kütlesi; diğeri ise yaz aylarında etkili olan sıcak karakterli, tropikal hava kütlesidir. İlin yüksek kesimlerinde, Doğu Anadolu'nun sert kara iklimi, diğer kesimlerde ise karasal iklim hâkimdir (Şırnak, 2017).



Şekil 4.30. Şırnak Üniversitesi Kampüs yerleşkesi

Şırnak üniversitesi kampüs yerleşkesi (Şekil 4.30) için daha önce bahsettiğimiz her üç modele göre akış katsayısı hesaplanmıştır. Yerleşim bölgelerinde yağmur suyu drenaj sistemleri tasarımı için gerekli olan ortalama akış katsayısı elde edilmiştir. İlk olarak Model 1'e bağlı olarak meteorolojik akış katsayısı (a_1) tespiti için;

Meteoroloji Genel Müdürlüğünden temin edilen Şırnak ili merkez istasyonuna ait uzun yıllar (1970-2017) ortalama sıcaklık ve uzun yıllar (1980-2017) ortalama rüzgâr verileri kullanılmıştır. Şırnak ili uzun yıllar ortalama sıcaklık değeri 15°C ve rüzgâr değeri 1.75 m/s olarak hesaplanmıştır. Bulanık SMRGT yönteminde bu değerlere karşılık gelen a_1 akış katsayısı %65.8 olarak hesaplanmıştır.

Model 2'de eğim ve arazi kullanımı değerlerine göre arazi özelliklerine bağlı akış katsayısı (a_2) tespiti için;

Şırnak üniversitesi kampus yerleşkesi ve civarı göz önünde bulundurularak eğim değeri ortalama 35° ve kampus alanı geçirimsiz yüzeyler toplamı ortalama %40 olarak hesaplanmıştır. Bulanık SMRGT yöntemiyle ikinci modelde bu değerlere karşılık gelen a_2 akış katsayısı %42.1 olarak hesaplanmıştır.

Son olarak Model 3'te sızdırmazlık ve doygunluk derecesi değişkenlerine göre zemin özelliklerine bağlı bir akış katsayısı (a_3) tespiti için;

Sızdırmazlık değeri zemin cinsine göre materyal ve metot bölümünde verilen çeşitli zemin türleri için sızma kapasitesi değerleri (Çizelge 3.2) killi silt ve kumlu silt

sızma değerlerinin ortalaması (yerleşim yeri zemin sızdırmazlığını daha iyi temsil etmesi adına) alınarak %75 hesaplanmıştır. Diğer bir değişken olan doygunluk derecesi için şehrin uzun dönemlik yağış miktarı dikkate alınarak ortalama bir değer hesaplanmıştır. Aksi halde doygunluk derecesinin hesaplanması için deneysel veri sonuçlarına ihtiyaç olacaktır. Burada doygunluk derecesi %40 olarak hesaplanmıştır. Bu iki değişken değerine karşılık bulanık SMRGT yönteminde okunan akış katsayısı değeri %57.9'dir. Şırnak Üniversitesi kampüs alanı için yağmur suyu drenaj sistemlerinde kullanılabilecek ortalama bir akış katsayısının tespit edilmesindedir. Her üç sonucun ortalaması alındığı takdirde akış katsayısı %55.26 yani kampüs alanı için kullanılabilecek akış katsayısı 0.55'dir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yağmur suyu drenaj sistemlerinde hidrolik tasarımın verimliliği hidrolojik açıdan yapılan hesapların doğruluğu ile yakından ilgilidir. Bu ilgi akış katsayısının doğru bir şekilde belirlenmesi açısından oldukça önemlidir. Ancak günümüzde bu katsayı daha önceden hazırlanan ve sınırlı bilgi barındıran tablolar aracılığıyla belirlenmektedir. Bu durum çalışılan bölgenin özel koşulları dikkate alınmadığı için akış katsayısının tam olarak istenilen değerde olmamasına ve böylece hatalı tasarımların yapılmasına yol açmaktadır. Bu çalışmada meskûn bölgelerde yağmur suyu drenaj sistemlerinde hidrolik tasarım için gerekli olan akış katsayısı değeri tespit edilmeye çalışılmıştır. Çalışmada MATLAB bilgisayar programı bulanık mantık modülü kullanılmıştır. Bulanık mantık modülü SMRGT yöntemi (Toprak, 2009) kullanılarak modeller kurgulanmıştır. Girdi ve çıktı değişkenlerine atanan üyelik fonksiyonları ve kurallar en doğru sonuca ulaşmak amacıyla SMRGT yöntemi kullanılarak belirlenmiştir.

Yağmur suyu drenaj sistemlerinde akış katsayısının tespit edilmesi için üç farklı model hazırlanmıştır. Bu modeller kurulurken göz ardı edilmemesi gereken asıl nokta yağış yoksa akış olmaz ilkesine göre hazırlandıklarıdır. Model 1'de yerleşim yerine göre sıcaklık ve rüzgâr değişkenlerine bağlı olarak bir meteorolojik özellik akış katsayısı hesaplanmıştır. Model 2'de yerleşim yeri için eğim ve arazi kullanımı (geçirimsizlik) değişkenleri ile arazi koşullarına bağlı bir akış katsayısı hesaplanmıştır. Son olarak Model 3'de sızdırmazlık ve doygunluk derecesi değişkenlerine göre zemin özelliklerine bağlı bir akış katsayısı hesaplanmıştır.

Her model için Matlab paket programında model sonuçları ve veri sonuçları karşılaştırılmıştır. Modellerin hata istatistik büyüklükleri ortalama karesel hata (OKH), ortalama karekök karesel hata (OKKH), ortalama mutlak hata (ortalama standart hata) (OMH), ortalama mutlak rölatif (bağıl) hata (OMRH) ve saçılma diyagramları ile korelasyon katsayıları hesaplanarak değerlendirilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

1. Akış katsayısının belirlenmesine yönelik olarak mevcut literatürde sınırlı sayıda çalışma mevcuttur.

2. Bu çalışmaların bir kısmı yeni değil (klasik), yeni olanların çoğu da kara-kutu tipi model önermektedir ki bu tür modellerin genelleştirilmesi akış katsayısının belirlenmesinde hassaslığı azaltmaktadır.
3. Yeni olanların bir kısmı ağırlıklı olarak zamansal değişimi, bir kısmı konumsal değişimi, bir kısmı sadece meskûn bölgeleri bir kısmı ise arazi örtüsü ve/veya kullanım şeklini veya zemin geçirgenliğini dikkate almaktadır. Oysa sağlıklı bir şekilde akış katsayısının belirlenmesi için bu değişkenlerin tümünü dikkate alacak modellere ihtiyaç vardır.
4. Yağmur suyu drenaj sistemlerinde akış katsayısı hesaplarken bu katsayının bağlı olduğu birçok değişkenin göz önünde bulundurulması gerekmektedir.
5. Hazır tablolarda okunan akış katsayısından ziyade drenaj sisteminin yapılacağı bölgenin meteorolojik özellikleri, arazi yapısına bağlı özellikler ve zemin özelliklerinin ayrı ayrı dikkate alınması gerektiği anlaşılmaktadır.
6. Hidrolojik bir olay olan yağış-akış ilişkisinin belirsizlikler içermesi dolayısıyla bulanık mantık yöntemiyle yaklaşılması oldukça önemlidir.
7. Bulanık SMRGT yöntemi akış katsayısı hesaplanırken değişkenlerin ne olduğu ve sayısı, üyelik fonksiyonlarının hangi kümeye ait olduğu, bulanık küme sayısı, üyelik fonksiyonlarının şeklinin belirlenmesi açısından oldukça pratik ve etkili bir yöntemdir.
8. Kurulan modeller ile elde edilen akış katsayılarının etkisi kişinin tecrübesine bağlı olarak farklı ağırlıklı etkiler ile yapılabilmekte bu durumda çalışılan bölge için en hassas değerin tespit edilmesine avantaj sağlamaktadır.
9. Bu çalışma kapsamında geliştirilen model alt modelleri ile birlikte yukarıda sözü edilen karşılaştırma kriterleri göz önünde tutulduğunda oldukça başarılı olduğu söylenebilir ve akış katsayısının belirlenmesinde kullanılması uygun görülmektedir.
10. Diğer taraftan bulanık SMRGT modellerinin fizik sebep-sonuç ilişkisini dikkate aldığı için herhangi bir havza veya bölge için ve herhangi bir zaman dilimi genelleştirilmesi mümkündür.
11. Örnek uygulama olarak Şırnak Üniversitesi kampus alanı için yağmur suyu drenaj sistemleri tasarımında kullanılmak üzere akış katsayısı 0.55 olarak tespit edilmiştir.

6. KAYNAKLAR

Ali A.R. (2016). Roof top Raın water Harvestıng As an Addıtıonal Water Supply Source: Case Study the Büyükçekmece Campus, Master of Science in Civil Structure and Infrastructure Engineering, Fatıh University, İstanbul, p.79.

Alley, W. M., & Veenhuis, J. E. (1979). Determination of basin characteristics for an urban distributed routing rainfall-runoff model. ***In Proceedings of Storm water Management Model (SWMM) Users Group Meeting*** (pp. 24-25).

Alp, M., & Cığızoğlu, H. K. (2010). Farklı yapay sinir ağı metotları ile yağış-akış ilişkisinin modellenmesi. ***İTÜ DERGİSİ***/d, 3(1).

Altaş E. (2017). Açık Kanallarda Farklı Hidrolik Koşullar Altında Su Yüzü Profilinin Bulanık SMRGT Yöntemiyle Belirlenmesi. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bitlis, 75

Altaş, E., Aydın, M. C., & Toprak, Z. F. (2018). Açık Kanal Akımlarında Su Yüzü Profilinin Bulanık SMRGT Yöntemiyle Modellenmesi. ***DÜMF Mühendislik Dergisi,*** 9(2), 975-981.

Avcuoğlu, B.M., (2008). Meskûn Bölge Yollarında Yağmur Suyu Drenajı İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 108s, İstanbul.

Bayazıt M.1999 Hidroloji İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi

Blume, T., Zehe, E., & Bronstert, A. (2007). Rainfall—runoff response, event-based runoff coefficients and hydrograph separation. ***Hydrological Sciences Journal***, 52(5), 843-862.

Bocanegra-Martínez, Andrea, et al. (2014). "Optimal design of rain water collecting systems for domestic use into a residential development." ***Resources, Conservation and Recycling*** 84 (2014): 44-56.

Brattebo, B.O., Booth, D.B.2003. Long-Term Storm water Quantity and Quality Performance of Permeable Pavement Systems. ***Water Resources Elsevier Press***, 15p.

Campisano, A., and Modica, C. 2012. Optimal sizing of storage tanks for domestic rain water harvesting in Sicily. ***Resources, Conservation Recycling.*** 63, 9-16. 84

Coşar, A., Önen, F.2005. Antalya Yerleşiminde Yağmur Suyu Debilerinin Tayini ve Yağmur Su Yüklerinin İncelenmesi. İnşaat Mühendisleri Odası Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi Bildiriler Kitabı, Cilt 2, 73-78.

Chandwani, V., Vyas, S. K., Agrawal, V., & Sharma, G. (2015). Soft computing approach for rainfall-runoff modelling: A review. ***Aquatic Procedia,*** 4, 1054-1061.

Chlumecký, M., Buchtele, J., & Richta, K. (2017). Application of random number generators in genetic algorithms to improve rainfall-runoff modelling. ***Journal of Hydrology***, 553, 350-355.

Cografyasozlugu, 2018, http://www.cografyasozlugu.com/index/index/H/467 11.09.2018

Çakır Aydın D. 2017. İşitsel peyzajda ses çevresi memnuniyet düzeyinin bulanık mantık ile tahmin edilmesi: Diyarbakır Suriçi uygulaması. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 196s, İstanbul.

Çatalbaş, S. 1999. "Yağmur Suyu Drenaj Sistemlerinin Bilgisayar Destekli Tasarımı ve Denizli Organize Sanayi Bölgesi İçin Bir Uygulama", Eylül 1999, PAÜ Fen Bil. Enstitüsü., Denizli.

Dağdelen U. 1996. Bulanık Mantık İle Adım Motor Kontrolü, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

De Paola, F., Giugni, M., Pugliese, F., & Romano, P. 2017. A decision support system for urban storm water drainage management.

Demir D.2012.Konvansiyonel Yağmur Suyu Yönetim Sistemleri ile Sürdürülebilir Yağmur Suyu Yönetim Sistemlerinin Karşılaştırılması: İTÜ Ayazağa Yerleşkesi Örneği İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 191s, İstanbul.

Duan, H. F., Li, F., & Yan, H. 2016. Multi-objective optimal design of detention tanks in the urban storm water drainage system: LID implementation and analysis. W***ater resources management,*** 30(13), 4635-4648.

Efe, M.2006, Atıksu ve Yağmur Suyu Toplayıcı Sistemlerinin Tasarımı ve İşletilmesinde Kullanılan Bilgisayar Destekli Modellerin Değerlendirilmesi ve Bir Örnek Uygulama, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 125s, İstanbul.

Furumai, H., Kim, J., Imbe, M., and Okui, H. 2008. Recent application of rain water storage and harvesting in Japan. The 3rd. RWHM Workshop. ***The International Water Association, UK.***

Gözütok, S.2009, Sayısal Benzetim Yöntemi ile Yağmur Suyu şebekelerinin Değerlendirilmesi, Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 89s, Ankara.

Grady, C., and Younos, T. 2008. Analysis of Water and Energy Conservation of Rain water Capture System on a Single-Family Home. ***Virginia Water Resources Research Center***.

Granata, F., Gargano, R., & de Marinis, G. 2016. Support vector regression for rainfall-runoff modeling in urban drainage: A comparison with the EPA's storm water management model. ***Water***, 8(3), 69.

Grillone, G., Baiamonte, G., & D'Asaro, F. (2014). Empirical determination of the average annual runoff coefficient in the Mediterranean area. ***American Journal of Applied Sciences,*** 11(1), 89.

Grima, M.A., 2000, Neuro-Fuzzy Modeling in Engineering Geology, A. A.Balkema, Rotterdam, pp. 244.

Grimaldi, S., Petroselli, A., & Romano, N. (2013). Green-Ampt Curve-Number mixed procedure as an empirical tool for rainfall–runoff modelling in small and ungauged basins. ***Hydrological processes,*** 27(8), 1253-1264.

Hall, M. J.1984. Urban Hydrology, Elsevier Applied-Science, New York, USA.

http://beckleysanitaryboard.org/education/storm-water/impervious-surface 13.10.2018

Harb, R. 2015. Assessing the potential of rainwater harvesting system at the Middle East Technical University–Northern Cypruscampus. Middle East Technical University Library Web site.

Imteaz, M.A., Adeboye, O.B., Rayburg, S., and Shanableh, A.2012. Rainwater harvesting potential for south west Nigeria using daily water balance model. ***Resources, Conservation and Recycling.*** 62, 51-55.

Irish Jr, Lyn B., et al. 1998 "Use of regression models for analyzing high way storm-water loads." ***Journal of environmental Engineering*** 124.10: 987-993.

Jang, Y.C., Jain, P., Tolaymat, T., Dubey, B., Singh, S., Townsend, T.2010. Characterization of road way storm water system residuals for reuse and disposal options. ***Science of the Total Environment*** 408, 1878-1887.

Karakoçak, B. B. 2011. An Integrated Approach to Water Management in Kayseri: Rain Water Collection and Storage Design for Kayseri Harikalar Diyari Water-Ski Park. Master of Science, Boğaziçi University Institute of Environmental Sciences, Environmental Technology, İstanbul, p. 88.

Karatepe A. A.2011. Meskûn Alanlardan Yağmur Suyunun Drenajı Meskûn Bölge Yollarında Yağmur Suyu Drenajı. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 94s, İstanbul.

Kadıoğlu, M. 2008. Küresel iklim değişikliğine uyum stratejileri. Kar Hidrolojisi Konferansı.

Karpuzcu, M. 2005. Su Temini ve Çevre Sağlığı, Özal Matbaası, İstanbul.

Khastagir, A., and Jayasuriya, N. 2010. Optimal sizing of rain water tanks for domestic water conservation. ***Journal Hydrology***. 381, 181-188.

Kuichling, E. (1889). The relation between the rainfall and the discharge of sewers in populous districts. ***Transactions of the American Society of Civil Engineers***, 20(1), 1-56.

Lee, J.H., Bang, K.W., 2000. Characterization of Urban Storm water Runoff. ***Water Research,*** Volume 34, Issue 6, 1773-1780.

Lemma, T. M., Gessesse, G. D., Kassa, A. K., & Edossa, D. C. (2018). ***International Soil and Water Conservation Research.***

Maheepala, U.K., Takyi, A.K., Perera, B.J.C., 2001. Hydrological data monitoring for urban storm water drainage systems. ***Journal of Hydrology***, 245, 32-47.

Mahmoud, S. H., Mohammad, F. S., & Alazba, A. A. (2014). Determination of potential runoff coefficient for Al-Baha Region, Saudi Arabia using GIS. ***Arabian Journal of Geosciences,*** 7(5), 2041-2057

Mamdani, E. H., & Assilian, S. 1975. An experiment in linguistics thesis with a fuzzy logic controller. International journal of man-machine studies, 7(1), 1-13.

Martin, C., Ruperd, Y., Legret, M., 2006. Urban storm water drainage management: The development of a multi criteria decision aid approach for best management practices. ***European Journal of Operational Research***, 181, 338-349.

Mirhan, S., 2009, İstanbul'da Yağmur Suyu Deşarjı için Mühendislik Kriterlerinin Yeniden Analiz Edilerek Optimum Boru Kesitinin Tayini, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 91s, Sakarya.

Merz, R., Blöschl, G., & Parajka, J. (2006). Spatio-temporal variability of event runoff coefficients. ***Journal of Hydrology***, 331(3-4), 591-604.

MGM, 2018, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=SIRNAK 10.10.2018

Mulvaney, T. J. (1851). On the use of self-registering rain and flood gauges in making observations of the relations of rainfall and flood discharges in a given catchment. ***Proceedings of the institution of Civil Engineers of Ireland***, 4, 19-31.

Nnadi, E. O., Newman, A. P., Coupe, S. J., & Mbanaso, F. U. 2015. Storm water harvesting for irrigation purposes: An investigation of chemical quality of water recycled in pervious pavement system. ***Journal of Environmental Management,*** 147, 246-256.

Nnaji, C., and Mama, N. 2014. Preliminary Assessment of Rain water Harvesting Potential in Nigeria: Focus on Flood Mitigation and Domestic ***Water Supply. Water Resources Management. 28***(7), 1907-1920

Özdağlar, D.: Kaya, B.: Benzeden, E. 1997. "Yağmur Suyu Boşaltım Şebekesi Boyutlandırılması", İzmir, İnşaat Mühendisleri Odası, XIV. Teknik Kongresi Kongre Sempozyum Bildiriler Kitabı Sayfa: 663 – 674

Patel, J. N., & Desai, M. 2017. Optimum diameter of ground water recharge well conjunction with storm water drainage system. ***KSCE Journal of Civil Engineering***, 1-9.

Pektaş, A. O. (2012). Büyük Havzalarda Akış Katsayısının Hesaplanması (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Pektaş, A. O., and Cigizoglu, H. K. (2013). ANN hybrid model versus ARIMA and ARIMAX models of runoff coefficient. ***Journal of Hydrology***, 500, 21-36.

Sample, D.J., and Liu, J. 2014. Optimizing rain water harvesting systems for the dual purposes of water supply and runoff capture. ***Journal of Cleaner Production***. 75, 174–194. 87

Santos, C., and Taveira-Pinto, F. 2013. Analysis of different criteria to size rain water storage tanks using detailed methods. ***Resources, Conservation and Recycling***. 71, 1-6.

Sen, Z. 2009. Fuzzy logic and hydrological modeling. CRC Press

Shamseldin, A. Y. (1997). Application of a neural network technique to rainfall-runoff modelling. ***Journal of Hydrology***, 199(3-4), 272-294.

Silkin, H.2017.Toplu Konutta Yağmur Suyu Hasadı ve Gri Suyun Kullanılması Uygulaması IV. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi, TİKDEK 2017 5 – 7 Temmuz 2017, İstanbul

Solomatine, D. P., and Dulal, K. N. (2003). Model trees as an alternative to neural networks in rainfall—runoff modelling. ***Hydrological Sciences Journal***, 48(3), 399-411.

Sriwongsitanon, N., and Taesombat, W. (2011). Effects of land cover on runoff coefficient. ***Journal of Hydrology***, 410(3-4), 226-238.

Stephenson, J.B., Zhou, W.F., Beck, B.F., Green, T.S., 1999. High way storm water runoff in karst areas – preliminary results of base line monitoring and design of a treatment system for a sinkhole in Knoxville, Tennessee. ***Engineering Geology***, 52, 51-59.

Şahin, H.İ.2006, Izgara Tipi Yağmur Suyu Giriş Yerlerinin Meskûn Bölge Drenajı Kapsamında İncelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 106s, İstanbul.

Şen, Z., 1999. Bulanık Yöntemler. İ.T.Ü. Yayınları, 105s, İstanbul.

Şen, Z, 2002. Bulanık (Fuzzy) Mantık ve Modelleme İlkeleri, Bilge Sanat Yapım Yayınları, İstanbul.

Şırnak, 2011 Şırnak İli Çevre Durum Raporu 2011

Şırnak, 2017 Şırnak İli Çevre Durum Raporu 2016

Takagi, T., Sugeno, M.1985, Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control, IEEE Trans. ***On Systems, Man and Cybernetics***, 15(1):116-132.

Talei, A., Chua, L. H. C., and Quek, C. 2010. A novel application of a neuro-fuzzy computational technique in event-based rainfall–runoff modeling. ***Expert Systems with Applications***, 37(12), 7456-7468.

Tasdighi, A., Arabi, M., and Harmel, D. (2018). A probabilistic appraisal of rainfall-runoff modeling approaches within SWAT in mixed land use watersheds. ***Journal of Hydrology***, 564, 476-489.

Toprak ZF (1994), Firat University, Institute of Science and Technology, 1992 – 1994 (MS Thesis: Irrigation Systems and Investigation of the Best Irrigation System for Southeastern Anatolia Project).

Toprak ZF (2001), Sulama Sisteminin Analizi, Bildiriler Kitabı, pp. 155-164, I. Türkiye Su Kongresi, January 2001, Istanbul – Turkey.

Toprak ZF, Savcı M.E, and Avcı C. 2004, Comparison of the Dispersion Model Results Using Contour Map method, Proc. 6th International Congress on Advances in Civil Engineering, (ACE2004), 1407 – 1417, Bogazici University, Istanbul – Turkey. The presentation of this work was sponsored by: Dicle University.

Toprak ZF, Savcı ME, and Avcı C. 2004, Predicting longitudinal dispersion coefficient in natural streams using fuzzy-logic, International Conference on "Hydrology: Science and Practice for the 21st Century", Proceedings of the British Hydrological Society (BHS), 379 – 388, Imperial College, July 12 – 16, 2004, London – U.K. The presentation of this work was sponsored by: Conference organization.

Toprak, Z. F. 2004. Akarsularda Boyuna Dispersiyon Katsayısının Bulanık Mantık Yöntemi İle Belirlenmesi (Doktora Tezi İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü).

Toprak ZF and Savcı M.E. 2004, Predicting dimensionless longitudinal dispersion coefficient in natural streams by fuzzy-logic approach, Proc. International Conference on Water Observation and Information System for Decision Support, 396, (ffp-80-049), May 25 – 29, 2004, Ohrid – Republic of Macedonia.

Toprak ZF and Savci M.E. 2007, Longitudinal dispersion coefficient modeling in natural channels using fuzzy logic, ***CLEAN-Soil, Air, Water,*** 35(6), 626-637, DOI: 10.1002/clen. 200700122.

Toprak ZF and Cigizoglu H.K. 2008, Predicting longitudinal dispersion coefficient in natural streams by artificial intelligence methods, ***Hydrological Processes,*** 22(20), 4106-4129, DOI: 10.1002/hyp.7012**.**

Toprak ZF (2001), Sulama Sisteminin Analizi, Bildiriler Kitabı, pp. 155-164, I. Türkiye Su Kongresi, January 2001, Istanbul – Turkey.

Toprak, Z. F. 2009. Flow discharge modeling in open canals using a new fuzzy modeling technique (SMRGT). ***CLEAN–Soil, Air, Water,*** 37(9), 742-752.

Toprak, Z. F., Hamidi, N., Toprak, Ş., & Şen, Z. 2013. Climatic identity assessment of the climate change. ***International Journal of Global Warming***, 5(1), 30-45.

Toprak, A., Aykaç, Z., & Toprak, Z. F. 2017. Bulanık SMRGT yönteminin Pratik uygulamaları. ***DÜMF Mühendislik Dergisi***, 8(1), 123-132.

Toy. İ., 2011, Antalya Yağmur Suyu Drenaj Sistemi Kapasitesinin Geliştirilmesi için Alternatif Öneriler Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 75s, Isparta

Tripathi, A., and Pandey, U. 2005. Study of Rain water Harvesting Potential of Zura Village of Kutch District of Gujarat. ***Journal of Human Ecology***. 18(1), 63-67.

Tsihrintzis, V. A., & Hamid, R. 1997. Modeling and management of urban storm water runoff quality: a review. ***Water Resources Management***, 11(2), 136-164

Unami, K., Mohawesh, O., Sharifi, E., Takeuchi, J., and Fujihara, M., 2015. Stochastic modelling and control of rain water harvesting systems for irrigation during dry spells. ***Journal of Cleaner Production***. 88, 185-195.

Uygunoğlu, T., ve Yurtcu, Ş. 2006. Yapay Zekâ Tekniklerinin İnşaat Mühendisliği Problemlerinde Kullanımı. ***Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi***, 2(1), 61-70.

Villareal, E.L., Bengtsson, A.S.D.L, 2004, Inner city storm water control using a combination of best management practices. ***Ecological Engineering***, 22, 279-298.

Villarreal, E.L., and Dixon, A. 2005. Analysis of a rain water collection system for domestic water supply in Ringdansen, Norrköping, Sweden. ***Building and Environment***. 40, 1174–1184.

Yılmaz S. 2006. KOÜ, Bulanık Mantık ve Mühendislik Uygulamaları Ders Notları.

Yılmaz, A., 2015, Sinirsel bulanık mantık modeliyle kanser risk analizi, Doktora, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Yin, H. L., Zhao, Z. C., Wang, R., Xu, Z. X., & Li, H. Z. (2017). Determination of urban runoff coefficient using time series inverse modeling. ***Journal of Hydrodynamics***, Ser. B, 29(5), 898-901.

Yu, X., 2008. Use of low-quality water: An integrated approach to urban storm water management (USM) in the Greater Metropolitan Region of Sydney (GMRS). ***International Journal of Environmental Studies***, 65, 119-137.

Yurtal, R., 2018. Recep Yurtal, Hidroloji ders notları (Erişim: Ekim 2018)

Zadeh, L.A.,1965, Fuzzy sets, information and control, 8(3):338-353.

Zhou, Q., Panduro, T. E., Thorsen, B. J., & Arnbjerg-Nielsen, K. 2013. Adaption to extreme rainfall with open urban drainage system: An integrated hydrological cost-benefit analysis. ***Environmental Management***, 51(3), 586-601.

Zoppou, C., 2001. Review of urban storm water models. ***Environmental Modelling and Software*** 16, 195e231.

ÖZGEÇMİŞ

Yazar 1993 yılında Diyarbakır'da doğdu. İlk ve orta eğitimini Diyarbakır'da, lise eğitimini Tunceli'de tamamladı. 2011 yılında lisans eğitimine başladığı, İnönü Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği bölümünü 2015 yılında bitirdi. 2017 yılında, Şırnak Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hidrolik Anabilim dalında Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. Halen bu görevini sürdüren Derya Karakaya'nın bugüne değin yapmış olduğu akademik çalışmalar aşağıda özetlenmiştir:

Karakaya D., Aykaç Z., Toprak Z. F. (2017). Hydraulic and Hydrological Investigation on the Ancient Fountains of Hz Suleyman Mosque. 2.IWA Regional Symposium on Water, Waste Water and Environment The Past, Present and Future of the World's Water Resources 22-24 March 2017, Cesme - Izmir (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum) (Yayın No:3900581)

Aykaç Z., Karakaya D., Toprak Z. F. (2017). Su Değirmenlerinin Hidrolik Enerji Potansiyelinin Araştırılması Diyarbakır Örneği. 9. ULUSAL HİDROLOJİ KONGRESİ (Özet Bildiri/Sözlü Sunum) (Yayın No:3898567)

Karakaya D., Aykaç Z., Toprak Z. F., (2017). Suriçi'nde yer alan tarihi Hz. Süleyman Camii çeşmelerinin hidrolik ve hidrolojik özellikleri. ***Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi***, 8(2), 403-411. (Kontrol No: 3896743)

Aykaç Z., Karakaya D., Toprak Z. F. (2018). Su Değirmenlerinin Hidrolik Enerji Potansiyelinin Araştırılması- Diyarbakır Örneği. ***Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*** (Yayın No: 4322130)

Karakaya D., Toprak Z. F. (2018). İçme Suyu Şebekelerindeki Su Kayıplarının ZFT Algoritması Kullanılarak Sınıflandırılması. SUÇEV 2018 (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum) (Yayın No:4322126)

Karakaya D. ve Toprak Z.F. (2018), İçme Suyu Şebekelerindeki Su Kayıplarının ZFT Algoritması Kullanılarak Sınıflandırılması, ***Su Kaynakları***, 3, (2) 22–30,

Karakaya D., Aykaç Z., Toprak Z. F. (2018). Baraj Yıkılması Halinde Mansap Akımının İki Boyutlu Modellenmesi (Göksu Barajı Örneği). 5. ULUSLARARASI BARAJ GÜVENLİĞİ SEMPOZYUMU 27 Ekim- 1 Kasım 2018 İstanbul. (Tam Metin Bildiri/ Sözlü Sunum)

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZ İNTİHAL FORMU

ÖĞRENCİ BİLGİLERİ	
ADI VE SOYADI	DERYA KARAKAYA
ÖĞRENCİ NO	16806005
EĞİTİM – ÖĞRETİM YILI	2018-2019
YARIYIL	☒ Güz ☐ Bahar
ANABİLİM DALI	İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
PROGRAM	Yüksek Lisans
TEZ KONUSU	AKIŞ KATSAYISININ BULANIK SMRGT YÖNTEMİ İLE MODELLENMESİ
İNTİHAL RAPORU BİLGİLERİ	
RAPOR TÜRÜ	Tez Savunma Sınavı Sonrası
SAYFA SAYISI	101
BENZERLİK ORANI	%8
RAPORLAMA TARİHİ	11/12/2018

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın kapak sayfası, giriş, ana bölümler, sonuç ve tartışma kısımlarından oluşan toplam 101 sayfalık kısmına ilişkin, 11/12/2018 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından *Turnitin* adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 8'dir.

Uygulanan filtrelemeler:

☐ Kabul/Onay sayfaları hariç,
☒ Kaynakça hariç
☐ Alıntılar hariç/dâhil
☐ Diğer

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Programlarda Tez Çalışması İntihal Raporu Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edilmesi durumunda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

11/12/2018
Derya KARAKAYA

11/12/2018	11/12/2018
Tez Danışmanı Prof. Dr. Z. Fuat TOPRAK	**Anabilim Dalı Başkanı** Doç. Dr. A. Halim KARAŞİN

Formdaki bilgiler bilgisayar ortamında doldurulmalıdır. El yazısı ile doldurulan formlar geçersiz sayılmaktadır.